

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg  
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum  
Gießen – Marburg GmbH, Standort Marburg  
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Dr. Andreas Neff

Abteilung für Kieferorthopädie  
Kommissarischer Leiter: Prof. Dr. Dr. Andreas Neff

---

# **Die sagittale Entwicklung der Schädelbasis und die Lageverschiebung des Foramen magnums bezogen auf den größten Durchmesser des Neurocraniums**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich Medizin der  
Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt von

**Tristan Jäger**  
aus Korbach

Marburg an der Lahn 2009

Angenommen vom Fachbereich Medizin der  
Philipps -Universität Marburg am: 9. Nov. 2009

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan: Professor Dr. M. Rothmund  
Referent: Professor Dr. J. M. H. Dibbets  
Korreferent: Professor Dr. J. Seitz

*gewidmet meinen Eltern*



# Inhaltsverzeichnis

1. Einführung .....	1
1.1 Einleitung.....	1
1.2 Zielsetzung und Ausgangspunkt der Studie.....	6
2. Material und Methode.....	9
2.1 Datenmaterial.....	9
2.1.1 Groninger Grundschuluntersuchung.....	9
2.1.2 Forschungsprojekt Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“ .....	10
2.1.3 Durchzeichnung und Digitalisierung der Röntgenbilder.....	11
2.1.3.1 Darstellung der Altersverteilung.....	12
2.2 Übernahme des Datenmaterials.....	13
2.3 Methode.....	15
2.3.1 Berechnungen.....	15
2.3.1.1 Berechnung der Lotfußpunkte.....	15
2.3.1.2 Berechnung der Streckenlängen.....	17
2.3.1.3 Korrektur der Streckenlängen.....	19
2.3.1.4 Berechnung der Quotienten.....	19
2.3.2 Berechnung der Schnittwinkel.....	20
2.3.3 Statistische Auswertung.....	22
2.3.3.1 Erstellen von Streudiagrammen.....	22
2.3.3.2 Korrelationsbestimmung .....	22
2.3.3.3 Erstellung von Altersklassen.....	23
2.3.3.4 Bestimmung der Mittelwerte.....	24
2.3.3.5 Grafische Darstellung der Mittelwerte.....	24
2.3.3.6 Erstellung von Fehlerbalken.....	24
2.3.3.7 Test auf Normalverteilung und einfaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem post hoc Scheffé-Test .....	25
2.3.3.8 Fehlerbestimmung.....	26
3. Ergebnisse.....	28
3.1 Mittelwerte der Streckenlängen.....	28
3.1.1 Durchmesser Neurocranium.....	28
3.1.2 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotNasion.....	30
3.1.3 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotOrbitale.....	31
3.1.4 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotA-Punkt.....	32
3.1.5 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotArticulare.....	33
3.1.6 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotBasion.....	34
3.1.7 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotSella.....	35
3.1.8 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotOpisthion.....	36
3.1.9 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotPorion.....	37
3.1.10 Streckenlänge Cerebrum posterior - LotArticulare.....	38
3.1.11 Streckenlänge Cerebrum posterior - LotBasion.....	39
3.1.12 Streckenlänge Cerebrum posterior - LotSella.....	40
3.1.13 Streckenlänge Cerebrum posterior - LotOpisthion.....	41
3.1.14 Streckenlänge Cerebrum posterior - LotPorion.....	42
3.1.15 Streckenlänge LotSella - LotBasion.....	43
3.1.16 Streckenlänge Sella - Cerebrum superior.....	44
3.1.17 Streckenlänge Cerebrum superior - LotCerebrum superior.....	45

3.2 Mittelwerte der Quotienten.....	46
3.2.1 Cerebrum anterior - LotNasion durch Durchmesser Neurocranium.....	46
3.2.2 Cerebrum anterior - LotOrbitale durch Durchmesser Neurocranium.....	47
3.2.3 Cerebrum anterior - LotA-Punkt durch Durchmesser Neurocranium.....	48
3.2.4 Cerebrum anterior - LotArticulare durch Durchmesser Neurocranium.....	49
3.2.5 Cerebrum anterior - LotBasion durch Durchmesser Neurocranium.....	50
3.2.6 Cerebrum anterior - LotSella durch Durchmesser Neurocranium.....	51
3.2.7 Cerebrum anterior - LotOpsithion durch Durchmesser Neurocranium.....	52
3.2.8 Cerebrum anterior - LotPorion durch Durchmesser Neurocranium.....	53
3.3 Schnittwinkel.....	54
3.3.1 Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zur Frankfurter Horizontalen.....	54
3.3.2 Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Sella - Nasion.....	55
3.3.3 Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Basion - Opisthion.....	56
3.3.4 Sella - Basion zu Basion - Opisthion.....	57
3.4 Ergebnisse des Tests auf Normalverteilung und der einfaktoriellen Varianz-analyse mit anschließendem post hoc Scheffé-Test.....	58
3.5 Korrelationen.....	59
3.5.1 Korrelationen von Streckenlängen und Alter.....	59
3.5.2 Korrelationen von Winkeln und Alter.....	62
4. Diskussion.....	63
4.1 Die sagittale und vertikale Entwicklung des Neurocraniums.....	63
4.2 Sagittale Entwicklung der anterior gelegenen Punkte Nasion, Orbitale, A-Punkt und ihrer Lotfußpunkte.....	66
4.3 Sagittale Entwicklung des mittig gelegenen Punktes Sella und seines Lotfußpunktes .....	70
4.4 Sagittale Entwicklung der posterior gelegenen Punkte Basion, Opisthion, Articulare, Porion und ihrer Lotfußpunkte.....	71
4.4.1 Die sagittale Lage des Foramen magnums.....	72
4.4.2 Die sagittale Entwicklung von Porion und Articulare.....	77
4.5 Übersicht über die Veränderung der sagittalen Messstrecken.....	79
4.6 Veränderung der Geometrie der Schädelbasis (Veränderung der Schnittwinkel).....	80
5. Zusammenfassung.....	84
6. Literatur.....	88
7. Anhang.....	94
7.1 Tabellen Strecken, Quotienten und Winkel .....	94
7.2 Fehlerbalken der Messstrecken.....	104

## 1. Einführung

### 1.1 Einleitung

Ein möglichst vollständiges Verständnis der Wachstumsprozesse des Schädels ist entscheidend für die Planung und Durchführung einer kieferorthopädischen Behandlung. Die Entwicklung und Geometrie der Schädelbasis sind für die gesamte Entwicklung des Schädels von großer Bedeutung (Horch 2006).

Die Schädelbasis ist ein wichtiges Bindeglied zwischen Hirnschädel und Gesichtsschädel, sie gliedert sich anatomisch in einen vorderen, einen mittleren und einen hinteren Anteil, bei denen unterschiedliche Wachstumsprozesse erwartet werden.

Ein ungenügendes Wachstum der knorpeligen Schädelbasis bedingt ein vermindertes Wachstum des Chondrocraniums nach ventral, hieraus können Dysmorphien der Schädelkalotte und des Gesichtsschädels resultieren (Horch 2006). Diese Beobachtung machte schon Virchow vor über 150 Jahren (1857).

Lieberman (2000) sagt, die Schädelbasis spiele eine wichtige Rolle im craniofazialen Wachstum. Eine große Änderung der Gestalt der Schädelbasis scheint eine zentrale Rolle bei der Evolution der Primaten, Entstehung der Anthropoiden und des Homo sapiens zu spielen.

Mit der sagittalen Lage des Foramen magnum beschäftigten sich Wissenschaftler schon seit über 100 Jahren. Eine Studie von Wyman (1869) zeigt eine ähnliche sagittale Lage des Foramen magnum in Relation zum Durchmesser des Neurocraniums beim jungen Gorilla, jungen Schimpansen und beim Menschen. Bei ausgewachsenen Menschenaffen zeigt sie diese Ähnlichkeit nicht mehr, das Foramen magnum liegt hier erheblich weiter posterior.

Wyman untersuchte allerdings nicht die dorsale Lageverschiebung des Foramen magnum beim Menschen in Abhängigkeit vom Lebensalter, was sowohl in Bolks (1915) als auch in unserer Untersuchung eine der zentralen

Fragen ist. Bolk erkennt eine relative Verschiebung des Foramen magnum bezogen auf den Durchmesser des Neurocraniums. In Wymans Untersuchung (1869) zeigt sich kein nennenswerter Unterschied bezüglich der sagittalen Lage des Foramen magnum bei Menschen unterschiedlicher Hautfarbe. Gleiches bestätigen neuere Ergebnisse von Luboga und Wood (1990). Wymans Daten beruhen auf Schädeln von erwachsenen Menschen unterschiedlicher ethnischer Herkunft, erwachsenen Gorillas und Schimpansen sowie jungen Gorillas und Schimpansen.

Senyürek (1938) beschäftigt sich mit der sagittalen Lage der occipitalen Condylen bezogen auf den äußeren Schädel bei Menschen und verschiedenen Affen. Er stellt fest, dass die occipitalen Condylen beim Menschen am weitesten anterior liegen. Senyürek (1938) hält dies für ein Resultat eines mechanischen Vorteils in aufrechter Position. In dieser Position liegen die Condylen sehr zentral unter dem gesamten Schädel, die notwendige Haltearbeit der Nackenmuskulatur kann so minimiert werden. In Senyüreks Untersuchung zeigt sich zudem, dass die Condylen bei den Weibchen weiter anterior liegen als bei den Männchen. Er führt diesen Umstand darauf zurück, dass weibliche Primaten kindlicher erscheinen als männliche Primaten. Sie benötigen weniger Nackenmuskulatur als die männlichen Primaten. Dies zeigt sich an runderen und glatteren Hinterhauptsbeinen der weiblichen Primaten, die als Ansatzstellen der Nackenmuskeln dienen.

Vor fast 100 Jahren beschreibt Bolk (1915, S. 650) eine Verschiebung des Foramen magnum nach hinten zeitgleich mit dem beginnenden Zahnwechsel.

Die Verschiebung wurde unter anderem als ein Merkmal benannt, das für Bolks **Foetalisationstheorie** (Bolk 1926) spricht. Dieser Theorie nach ähnelt die Form des menschlichen Schädels der Form eines jungen, fetalen Menschenaffen (Bolk 1915, S. 653). Der Mensch bewahrt in seiner Entwicklung Charakteristika, die ein junger Affe besitzt, aber im Laufe des Erwachsenwerdens weitgehend verliert. Der Mensch behält diesen „fetalen Typus“ bis zum Abschluss seiner körperlichen Entwicklung bei (Bolk 1926, S. 7). Die (fetalen) „primären menschlichen Merkmale“ sind zum Beispiel die



zentrale Lage des Foramen magnum, Unbehaartheit, Pigmentverlust in Haut, Haaren und Augen sowie die Form der Ohrmuschel (Bolk 1926, S. 6). Bolk stellt fest, dass die Formeigenschaften und Verhältnisse, die beim Fetus der übrigen Primaten vorübergehend seien, beim Menschen stabilisiert seien (1926, S. 7). Bolk schildert in seinem Vortrag die „Retardation der Entwicklung“ (1926, S. 10). Bolks Meinung nach ist nicht die Aufrichtung des Körpers Ursache für die Ausbildung der spezifischen menschlichen Körpermerkmale, „sondern weil sich die Form vermenschlichte, richtet sich der Körper auf“ (Bolk 1926, S. 6). Die Anpassungsvorgänge sind nach Bolk nicht Ergebnis der „natürlichen oder sexuellen Zuchtwahl“ (Bolk 1926, S. 9). Hier widerspricht Bolk der Evolutionstheorie von Darwin (1859).

Bolk (1915) vergleicht die Unterschiede bei der sagittalen Lageveränderung des Foramen magnum bezogen auf den größten Durchmesser des Neurocraniums beim Menschen und anderen Säugetieren, besonders Menschenaffen. Bolk definierte eine sagittale Grundlinie (vorderer Endpunkt der Schädelbasis „Fronton“ und von diesem Punkt am weitesten entfernter Punkt im Bereich des Os occipitale „Occipiton“ (1915, S. 617/618)) und den „Index basalis“ (Streckenlänge „Fronton“ – Lotfußpunkt von Basion auf der Grundlinie dividiert durch die Länge der Grundlinie) als wesentliches Hilfsmittel um die Verschiebung des Foramen magnum beim Menschen und Affen beschreiben und quantifizieren zu können [Abb. 1].

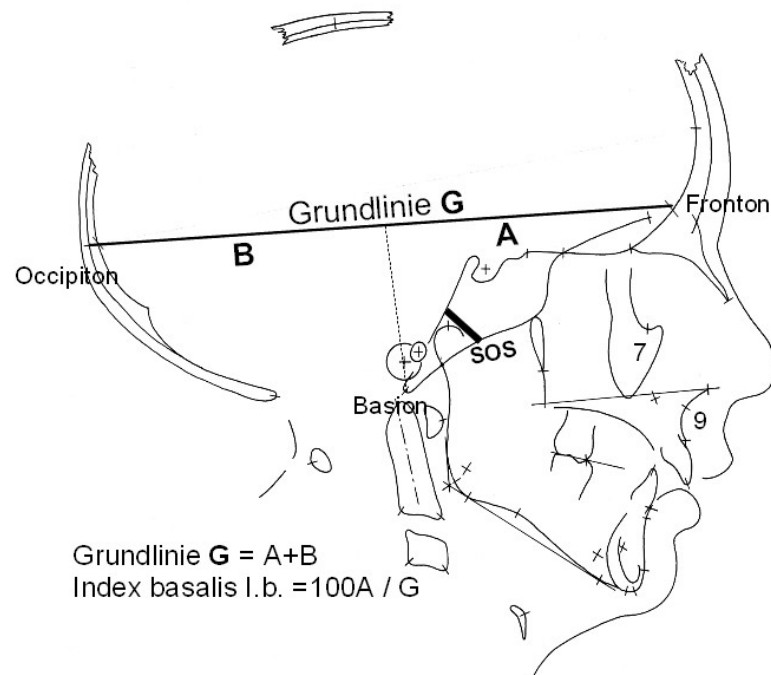


Abbildung 1: von Bolk verwendete Referenzlinien (1915)

Bolks Untersuchung und Aussagen basieren auf recht geringen Fallzahlen, sie setzen sich wie folgt zusammen [Tabelle 1] (Bolk 1915, S. 613):

**Tabelle 1:** Bolks Datenmaterial (1915)

Anzahl Schädel	Lebensjahr (ethnologische Herkunft)
10	im 1. Jahr
5	1.-2. Jahr
7	2.-3. Jahr
4	3.-4. Jahr
5	4.-5. Jahr
7	5.-7. Jahr
6	7.-8. Jahr
4	8.-10. Jahr
6	10.-12. Jahr
10	erwachsene dolichocephale Schädel (Friesen)
10	erwachsene dolichocephale Schädel (Papua)
10	erwachsene dolichocephale Schädel (Farbige)
10	erwachsene brachycephale Schädel (Javaner)
10	erwachsene brachycephale Schädel (Zeeuwen)

Es findet keine Differenzierung zwischen Männern und Frauen statt. Bolk bestimmt die Mittelwerte der Messstrecken, eine Überprüfung der Signifikanz erfolgt jedoch nicht.

In Bolks Untersuchung (1915, S. 630) zeigt sich, dass der Lotfußpunkt von Basion (Vorderrand des Foramen Magnum) auf der Gundlinie von wenigen Ausnahmen abgesehen immer auf der vorderen Hälfte lag, bei Kindern weiter anterior als bei Erwachsenen. Es läuft laut Bolk eine „reelle“ Verschiebung vom 8. Lebensjahr bis ins Erwachsenenalter ab (1915, S. 650). Mit 12 Jahren ist nach Bolks Auffassung die endgültige Ausdehnung der Grundlinie, nicht aber die maximale sagittale Ausdehnung des präbasionalen Teils des Schädels (Bolks „A“-Linie ist die sagittale Entfernung von Fronto zum Lotfußpunkt von Basion auf der Grundlinie) erreicht (1915, S. 650/651). Die Verschiebung nach posterior findet laut Bolk bei den übrigen Primaten in weit größerem Umfang statt als beim Menschen (1915, S. 652). Bolks Auffassung nach bewahrt der Menschenschädel seine kindlichen Charakteristika in viel größerem Ausmaß als der Affenschädel (1915, S. 653) (Foetalisationstheorie). Bolk (1915) führt auch Erklärungen für diese Entwicklungen an. Er sieht den aufrechten Gang als wesentlichen fixierenden Faktor für die zentrale sagittale Lage des Foramen magnum beim Menschen (1915, S. 656).

Bolk bemerkt auch eine trichterförmige Entwicklung des Hirnschädels bedingt durch steiler Stellen von Clivus und Squama occipitalis (1915, S. 659). Auch diese Entwicklung kann in unserer Untersuchung eingehender betrachtet und ein mögliches Absinken von Basion und Opisthion quantifiziert werden.

Da das Gehirn faktisch sein volles Volumen im Alter von ca. 10 Jahren erreicht hat (Björk 1955), wird untersucht, ob ein weiteres sagittales Wachstum des Hirnschädels ab diesem Alter noch stattfindet. Bolk gibt das 12. Lebensjahr als Zeitpunkt an, an dem der Hirnschädel seine größte sagittale Ausdehnung erreicht hat (1915, S. 560). Er verfügt allerdings nicht über Daten von Schädeln zwischen dem 12. Lebensjahr und dem Erwachsenenalter. Die größte Veränderung des Hirnschädels läuft jedoch schon in den ersten zwei Lebensjahren ab (Gerver 1988). Auch wird eine Veränderung der

Schädelgeometrie durch die ablaufenden Wachstumsprozesse vermutet (Bolk 1915, S. 659/668 ff.), die durch Betrachtung verschiedener Winkel des Schädels analysiert und quantifiziert wird. Es stellt sich ferner die Frage, ob es nennenswerte Unterschiede zwischen Männern und Frauen bezüglich des Ausmaßes und Zeitpunktes der Wachstumsprozesse gibt.

Die Frage, wann das Wachstum des Schädels komplett abgeschlossen ist, ist von großer Bedeutung für die Kieferorthopädie, die dentale Implantologie und die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Für die kieferorthopädische Behandlung von Kindern mit Dysgnathien werden Wachstumsvorgänge gezielt beeinflusst, wobei für eine gezielte Einflussnahme auf die Wachstumsprozesse eine möglichst genaue Kenntnis der allgemein ablaufenden Wachstumsvorgänge notwendig ist. Nur so ist eine optimale kieferorthopädische Behandlung möglich. In der dentalen Implantologie ist es wichtig, dass die Wachstumsvorgänge des Kiefers im Wesentlichen abgeschlossen sind und durch die Implantation keine Wachstumshindernisse entstehen, die zu ungünstigen ästhetischen und funktionellen Ergebnissen führen. Auch sollten z.B. operative Korrekturen von Nasenspalten mit Rücksicht auf das Schädelwachstum in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie erst nach dem 12. Lebensjahr erfolgen (Horch 2006).

### **1.2 Zielsetzung und Ausgangspunkt der Studie**

In dieser Untersuchung wird die sagittale Entwicklung des Schädels und besonders der Schädelbasis vom Kindesalter bis zum Erwachsenenalter analysiert. Als Datenmaterial dienen Fernröntgenseitenbilder, die longitudinale Studien am lebenden und wachsenden Menschen ermöglichen. Entwickelt wurde dieses Verfahren von Broadbent und Hofrath unabhängig voneinander im Jahr 1931.

Unsere Studie greift Bolks Messstrecken und Quotienten in leicht abgewandelter Form wieder auf, um die Verschiebung des Foramen magnum

nach dorsal möglichst exakt zu quantifizieren. Unsere Strecke Cerebrum anterior – Cerebrum posterior entspricht im Wesentlichen Bolks „Grundlinie“.

Das für unsere longitudinale Untersuchung benutzte Datenmaterial beinhaltet Messergebnisse von digitalisierten Fernröntgenseitenbildern, die es ermöglichen, die relative sagittale Verschiebung des Foramen magnum (Punkte: Basion und Opisthion) sowie weiterer wichtiger kephalometrischer Punkte der Schädelbasis und des Gesichtsschädels wie Nasion, Orbitale, A-Punkt, Articulare, Sella und Porion bezogen auf den größten Durchmesser des Hirnschädels genau zu betrachten und ihre unterschiedliche Entwicklung quantitativ zu beschreiben.

Im Gegensatz zu Bolk (1915) ist es mit unseren Daten auf Grund höherer Fallzahlen pro Altersklasse und Geschlecht möglich, die Entwicklungen von Männern und Frauen getrennt zu betrachten und die Zeitpunkte für ein Ende der wachstumsbedingten Veränderungen geschlechtsspezifisch zu bestimmen und auf Signifikanz zu prüfen.

**Ziel der Untersuchung ist die Beantwortung folgender Fragen:**

- 1) Gibt es nennenswerte Unterschiede im sagittalen Schädelwachstum bei Männern und Frauen?
- 2) Wann ist das Schädelwachstum im Wesentlichen abgeschlossen?  
Wie groß ist das Wachstum des Hirnschädels nach dem Erreichen des vollen Hirnvolumens mit ca. 10 Jahren?
- 3) In welchen Bereichen der Schädelbasis findet viel bzw. wenig sagittales Wachstum statt?
- 4) Wie verändert sich die Geometrie der Schädelbasis während des Erwachsenwerdens?
- 5) Wie verändert sich die sagittale Lage der wichtigen kephalometrischen Punkte Nasion, Orbitale, A-Punkt, Articulare, Sella und Porion zueinander und zum größten Durchmesser des Hirnschädels?
- 6) **Findet eine Verschiebung des Foramen magnums statt?**  
Wenn ja, in welche Richtung und in welchem Ausmaß verschiebt sich das Foramen magnum bezogen auf den größten Durchmesser des Neurocraniums horizontal?  
Bestätigen sich, besonders in dieser Frage, Bolks Beobachtungen und lassen sie sich genauer quantifizieren?

## **2. Material und Methode**

### **2.1 Datenmaterial**

Als Ausgangsmaterial der folgenden Untersuchung dienen Fernröntgen-seitenbilder, welche die kranialen, cervicalen und fazialen Bereiche ausgesuchter Personen abbilden. Das Datenmaterial stammt aus der Abteilung für Kieferorthopädie in Groningen. Es wurden zwei verschiedene longitudinale Forschungsprojekte durchgeführt, aus denen die Fernröntgenseitenbilder stammen:

1. Groninger Grundschuluntersuchung
2. Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“

Es wurde in beiden Forschungsprojekten angestrebt, im selben Monat der folgenden Jahre ein Fernröntgenseitenbild (FRS) von jeder beteiligten Person aufzunehmen.

#### **2.1.1 Groninger Grundschuluntersuchung**

Die Auswahl der Personen erfolgte nach kieferorthopädischen Gesichtspunkten, was zur Folge hat, dass die Verteilung von Gebissanomalien im untersuchten Pool von der Normalpopulation leicht abweicht. Durch gezieltes Anheben der eher seltenen Klasse III-Fälle und der Reduktion von häufiger auftretenden Klasse II-Fällen wurde das Vorkommen von Klasse II- und Klasse III-Anomalien gezielt ausgeglichen. Aufnahmeserien von kieferorthopädisch behandelten Kindern und unbrauchbare Röntgenaufnahmen wurden nicht berücksichtigt.

Die Kinder sind alle niederländischen Ursprungs und stammen aus

Grundschulen Groningens. Sie bilden die soziale Struktur der Stadt ab und stellen eine homogene Population dar.

Die Studie begann 1950 und endete 1976. Bei der ersten Aufnahme war das jüngste Kind 6,1 Jahre und das älteste Kind 8,9 Jahre alt. Das mediane Alter zum Zeitpunkt der Erstaufnahme betrug 6,8 Jahre. Das Höchstalter der untersuchten Individuen betrug bei der letzte Fernröntgenseitenaufnahme 32,0 Jahre.

### **2.1.2 Forschungsprojekt Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“**

Für das Forschungsprojekt Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“ wurden Kinder und Jugendliche 15 Jahre nach Beginn der Groninger Grundschuluntersuchung an den gleichen Groninger Grundschulen ausgewählt. Sie wiesen alle eine Klasse I-Verzahnung auf.

Das Forschungsprojekt begann 1965 und endete 1980 mit der letzten Aufnahme. Zu Beginn der Untersuchung war der jüngste Proband 7,0 Jahre und der älteste Proband 14,2 Jahre alt. Das mediane Alter betrug 11,9 Jahre. Das Höchstalter der untersuchten Probanden betrug 28,3 Jahre.

Folgende Bedingungen galten als Kriterien für die Auswahl am Forschungsprojekt Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“:

- Proband war nicht kieferorthopädisch behandelt
- Klasse I Profil und neutrale Bisslage
- Neutrale Okklusion
- Ausreichende apikale Basis und damit kein Stützzonenverlust oder Stützzoneneinengung durch Karies
- Kein Frontengstand

Die Auswahl erfolgte durch visuelle Inspektion bei der ersten Untersuchung.



### 2.1.3 Durchzeichnung und Digitalisierung der Röntgenbilder

Die Fernröntgenseitenbilder wurden von Dibbets durchgezeichnet und die von ihm definierten 47 kephalometrischen Markierungspunkte wurden 1988 mittels eines Digitalisierungstabletts und Computers digitalisiert. Nicht eindeutige Punkte konnten nicht digitalisiert werden. Daher fanden sich im Ausgangsdatensatz Fehlstellen.

Für die Auswertung wurden folgende Datensätze verwendet:

Tabelle 2: Anzahl der Personen und Röntgenaufnahmen

	Personen			Röntgenbilder		
	Männlich	Weiblich	<b>Gesamt</b>	Männlich	Weiblich	<b>Gesamt</b>
Groninger Grundschul- untersuchung	90	77	167	649	588	<b>1237</b>
Forschungsprojekt Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“	25	26	51	154	147	<b>301</b>
<b>Gesamt</b>	<b>115</b>	<b>103</b>	<b><u>218</u></b>	<b>803</b>	<b>735</b>	<b><u>1538</u></b>

Es wurden also von 218 Studienteilnehmern insgesamt 1538 Fernröntgenseitenbilder erfasst.

### 2.1.3.1 Darstellung der Altersverteilung

Die Altersverteilung wird in einem Histogramm für die männlichen und weiblichen Personen grafisch dargestellt. Auf der x-Achse wird das Alter in Jahren, auf der y-Achse die Häufigkeit aufgetragen.

Es zeigt sich folgende Altersverteilung der Röntgenaufnahmen:

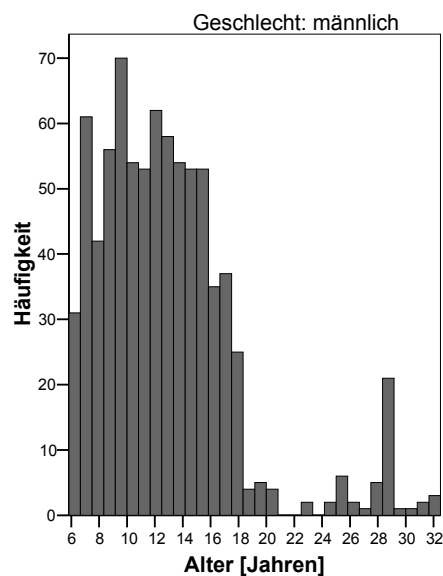


Abbildung 2: Altersverteilung männlich  
MW=12,81 SD=5,00 N= 803

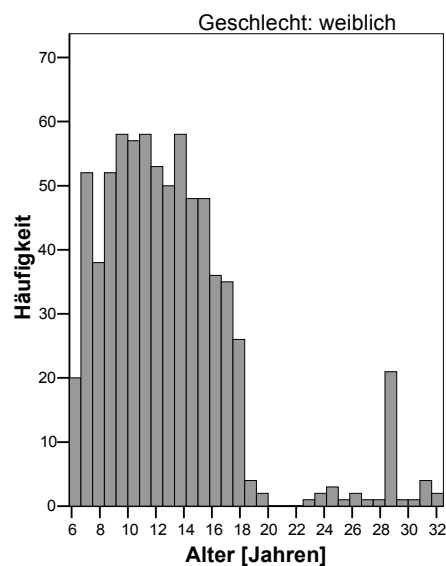


Abbildung 3: Altersverteilung weiblich  
MW=12,88 SD=4,90 N=735

## 2.2 Übernahme des Datenmaterials

Das Datenmaterial wurde in Form einer Excel Tabelle bereitgestellt. Diese Tabelle umfasst die Patientenummer, das Geschlecht, die Nummer des Röntgenbildes pro Proband, den Vergrößerungsfaktor des Bildes, das Datum der Röntgenaufnahme, das Alter der Probanden zum Zeitpunkt der Aufnahme in Tagen und die x- und y-Koordinaten der 7 benötigten kephalometrischen Punkte. Die x- und y-Koordinaten wurden in Millimetern angegeben.

Die Lage der in Tabelle 3 beschriebenen kephalometrischen Punkte (Alp 1997) ist in Abbildung 4 und 5 eingezeichnet.

Tabelle 3: kephalometrische Messpunkte mit Definitionen

Nummer	Abkürzung	Name und Beschreibung
2	S	Sella: Zentrum der knöchernen Krypte der Sella turcia
5	CA	Cerebrum anterior: Tangentenpunkt durch Spina nasalis anterior zur Tabula interna des Os Frontale
6	N	Nasion: vorderster Punkt der Sutura naso-frontalis
7	Or	Orbitale: tiefster Punkt der Kontur der knöchernen Orbita
9	A	A-Punkt (nach Downs): tiefster Punkt in der Kontur der Maxilla zwischen Spina nasalis anterior und Prosthion
26	Ar	Articulare: Schnittpunkt der Kontur des pharyngalen Clivusanteils mit der hinteren Kontur der Mandibula
27	Ba	Basion: Medianpunkt des Vorderrandes des Foramen magnums; tiefster hinterster Punkt der Clivus
39	Op	Opisthion: Medianpunkt des Hinterrands des Foramen magnums
40	CP	Cerebrum posterior: Punkt auf der Tabula interna des Os occipitale mit dem größten Abstand zum Cerebrum anterior
41	Po	Porion: Mitte des Porus acusticus externus
44	CS	Cerebrum superior: Punkt auf der äußeren Kontur der Tabula interna des Os parietale in größter Entfernung zum horizontalen Schädeldurchmesser

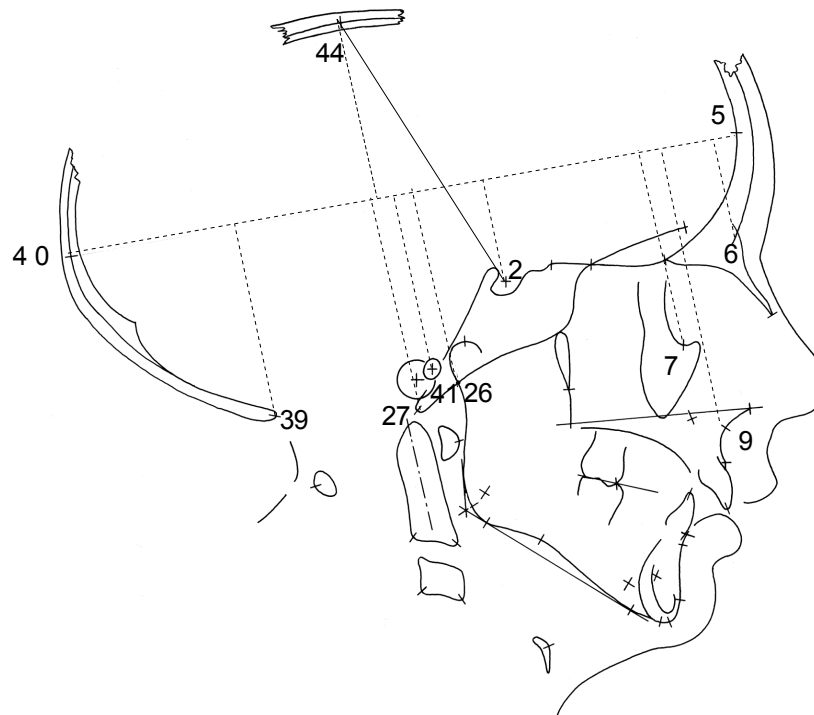


Abbildung 4: Durchzeichnung FRS mit kephalometrischen Punkten

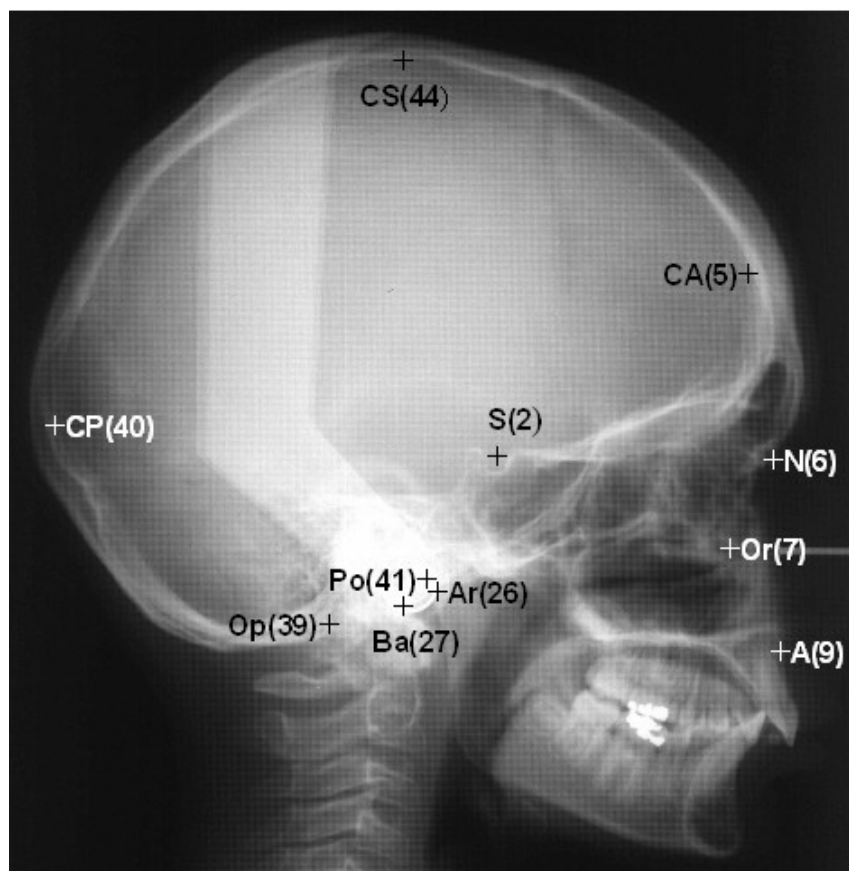


Abbildung 5: Fernröntgenseitenbild mit kephalometrischen Punkten

## 2.3 Methode

### 2.3.1 Berechnungen

#### 2.3.1.1 Berechnung der Lotfußpunkte

Um die Lotfußpunkte von Nasion, Orbitale, A-Punkt, Articulare, Basion, Sella, Opisthion und Porion auf der Strecke Cerebrum anterior ( $P_5$ ) nach Cerebrum posterior ( $P_{40}$ ) zu errechnen, wird zuerst die Geradengleichung für diese Strecke ermittelt. Anschließend wird die Geradengleichung für die zur Strecke Cerebrum anterior - Cerebrum posterior orthogonale Gerade durch einen der beschriebenen kephalometrischen Punkte erstellt. Durch Gleichsetzen der Geradengleichungen können die x-Koordinaten der Lotfußpunkte (Schnittpunkte) ermittelt werden. Durch Einsetzen der x-Koordinaten in die Geradengleichung der Strecken Cerebrum anterior - Cerebrum posterior erhält man die y-Koordinaten der Lotfußpunkte. Die notwendigen Berechnungen werden mit Microsoft Excel 2000 durchgeführt.

Herleitung der Formeln zur Ermittlung des Lotfußpunktes  $P_{z'(LFP)}$  des beliebigen Punktes  $P_z$  auf der Strecke  $P_5P_{40}$ :

Allgemeine Geradengleichung der Gerade (F) zwischen den Punkten  $P_{40}$  und  $P_5$ :

$$f(x) = m_1 * x + b \quad [1]$$

Steigung der Geraden F

$$m_1 = \frac{(y_{40} - y_5)}{(x_{40} - x_5)} \quad [2]$$

Ordinatenabschnitt (b) der Geraden F

$$b = y_5 - \frac{(y_{40} - y_5)}{(x_{40} - x_5)} * x_5 \quad [3]$$

Die Gesamtgleichung der Gerade F ist durch Einsetzen von  $m_1$  und  $b$  bestimmt.

Allgemeine Gleichung der Orthogonalen (bezeichnet als Gerade G) zu  $P_5P_{40}$

(Geraden F) durch Punkt  $P_z$ :

$$g(x) = d + m_2 * x \quad [4]$$

Die Steigung  $m_2$  der Geraden G zur Geraden F und Ordinatenabschnitt (d) der Geraden G durch den Punkt  $P_z$  ( $x_{Pz}/y_{Pz}$ ):

$$m_2 = \frac{-1}{m_1} = \frac{-(x_{40} - x_5)}{(y_{40} - y_5)} \quad [5]$$

$$d = y_{Pz} + \frac{(x_{40} - x_5)}{(y_{40} - y_5)} * x_{Pz} \quad [6]$$

Die Steigung  $m_2$  der Geraden (G) beträgt den negativen Kehrwert der Geraden (F), weil sie orthogonal zueinander stehen. Der Ordinatenabschnitt (d) wird durch Umformung der Geradengleichung für den speziellen Punkt  $P_z$  errechnet. Die Geraden werden gleichgesetzt  $g(x)=f(x)$ , um den Schnittpunkt (Lotfußpunkt  $P_{z'(LFP)}$ ) der Geraden zu ermitteln.

$$d + m_2 * x = b + m_1 * x \quad [7]$$

Die Gleichung [7] wird nach x aufgelöst.

$$x = \frac{[d - b]}{[-m_2 + m_1]} \quad [8]$$

Durch Einsetzen von [2], [3], [5] und [6] in Gleichung [8] erhält man die endgültige Formel für den Lotfußpunkt  $P_{z'(LFP)}$  mit den Koordinaten  $P_{z'(LFP)}(x_{Pz'(LFP)}/y_{Pz'(LFP)})$ .

$$x_{Pz'(LFP)} = \frac{\left[ y_{Pz} + \frac{(x_{40} - x_5)}{(y_{40} - y_5)} * x_{Pz} - y_5 + \frac{(y_{40} - y_5)}{(x_{40} - x_5)} * x_5 \right]}{\left[ \frac{(x_{40} - x_5)}{(y_{40} - y_5)} + \frac{(y_{40} - y_5)}{(x_{40} - x_5)} \right]} \quad [9]$$

Durch Einsetzen von  $x_{Pz'(LFP)}$  in die Geradengleichung  $f(x)$  wird  $y_{Pz'(LFP)}$  berechnet.

$$y_{Pz' (LFP)} = \frac{(y_{40} - y_5)}{(x_{40} - x_5)} * x_{Pz' (LFP)} + y_5 - \frac{(y_{40} - y_5)}{(x_{40} - x_5)} * x_5 \quad [10]$$

Die Lotfußpunkte werden bezeichnet als LotNasion, LotOrbitale, LotA-Punkt, LotArticulare und LotBasion.

### 2.3.1.2 Berechnung der Streckenlängen

Die Streckenlängen lassen sich mit Hilfe des Satzes des Pythagoras berechnen.

Größter Durchmesser des Neurocraniums:

$$P_{40} P_5 = \sqrt{(x_5 - x_{40})^2 + (y_5 - y_{40})^2} \quad [11]$$

Länge der Strecke von Cerebrum anterior zum Lotfußpunkt auf der Strecke Cerebrum anterior - Cerebrum posterior:

$$P_5 P_{Z' (LFP)} = \sqrt{(x_{Pz'} - x_5)^2 + (y_{Pz'} - y_5)^2} \quad [12]$$

Zur Kontrolle der berechneten Streckenlängen wird noch die Länge der Strecke von Cerebrum posterior zum Lotfußpunkt auf der Strecke Cerebrum anterior - Cerebrum posterior berechnet:

$$P_{40} P_{Z' (LFP)} = \sqrt{(x_{Pz'} - x_{40})^2 + (y_{Pz'} - y_{40})^2} \quad [13]$$

Diese Streckenlänge addiert mit der Streckenlänge Cerebrum anterior zum entsprechenden Lotfußpunkt muss den gleichen Wert haben wie die Strecke Cerebrum anterior - Cerebrum posterior (größter Durchmesser des Neurocraniums). Die Streckenlängen, die von besonderer Bedeutung sind,

werden grafisch dargestellt und eingehender analysiert. Zusätzlich erfolgt die Berechnung der Strecke Sella-Cerebrum superior und Cerebrum superior-LotCerebrum superior über den Satz des Pythagoras:

$$P_2 P_{44} = \sqrt{(x_{44} - x_2)^2 + (y_{44} - y_2)^2} \quad [14]$$

$$P_{44} P_{44}'_{(LFP)} = \sqrt{(x_{44}' - x_{44})^2 + (y_{44}' - y_{44})^2} \quad [15]$$

Die Strecke LotSella-LotBasion, die die Wachstumsvorgänge im Clivusbereich aufzeigt, berechnet sich folgendermaßen:

$$S_{\text{LotS-LotBa}} = S_{\text{CA-CP}} - (S_{\text{CA-LotS}} + S_{\text{CP-LotBa}}) \quad [16]$$

Alle Streckenlängen und Koordinaten sind in Millimetern angegeben.

Folgende Streckenlängen werden berechnet:

Tabelle 4: Gemessene Streckenlängen

Strecke	Abkürzung
Cerebrum anterior - Cerebrum posterior (Durchmesser Neurocranium)	S_CA-CP
Cerebrum anterior - LotNasion	S_CA-LotN
Cerebrum anterior - LotOrbitale	S_CA-LotOr
Cerebrum anterior - LotA-Punkt	S_CA-LotA
Cerebrum anterior - LotArticulare	S_CA-LotAr
Cerebrum anterior - LotBasion	S_CA-LotBa
Cerebrum anterior - LotSella	S_CA-LotS
Cerebrum anterior - LotOpisthion	S_CA-LotOp
Cerebrum anterior - LotPorion	S_CA-LotPo
Cerebrum posterior - LotArticulare	S_CP-LotAr
Cerebrum posterior - LotBasion	S_CP-LotBa
Cerebrum posterior - LotSella	S_CP-LotS
Cerebrum posterior - LotOpisthion	S_CP-LotOp
Cerebrum posterior - LotPorion	S_CP-LotPo
LotSella - LotBasion	S_LotS-LotBa
Sella - Cerebrum superior	S_S-CS
Cerebrum superior - LotCerebrum superior	S_CS-LotCS
Cerebrum superior - Basion	S_CS-Ba
Cerebrum superior - Opisthion	S_CS-Op



### 2.3.1.3 Korrektur der Streckenlängen

Auf Grund projektionsbedingter Vergrößerung der Fernröntgenseitenbilder müssen die Strecken mit einem Korrekturfaktor multipliziert werden. Der Korrekturfaktor ist der Kehrwert der Vergrößerung und beträgt für die mit „V-Faktor 1 und 2“ gekennzeichneten Röntgenaufnahmen vor 1970 0,9467 und für die übrigen Aufnahmen mit „V-Faktor 3“ gekennzeichnet 0,9693.

### 2.3.1.4 Berechnung der Quotienten

Die Berechnung der Relationen zwischen den Strecken Cerebrum anterior - Lotfußpunkte und dem größten Durchmesser des Neurocraniums (*ähnlich zu Bolks „Grundlinie“ 1915, S. 618*) erfolgt durch Bildung der Quotienten ( $Q_z$ ).

(Der Quotient  $S\_CA-LotBa / S\_CA-CP$  ist mit Bolks (1915) „***Index basalis***“ vergleichbar.)

Folgende Quotienten werden berechnet:

Tabelle 5: Relationen der gemessenen Strecken zum Durchmesser des Neurocraniums

Quotient	Abkürzung
Cerebrum anterior - LotNasion durch Durchmesser Neurocranium	$S\_CA-LotN / S\_CA-CP$
Cerebrum anterior - LotOrbitale durch Durchmesser Neurocranium	$S\_CA-LotOr / S\_CA-CP$
Cerebrum anterior - LotA-Punkt durch Durchmesser Neurocranium	$S\_CA-LotA / S\_CA-CP$
Cerebrum anterior - LotArticulare durch Durchmesser Neurocranium	$S\_CA-LotAr / S\_CA-CP$
<u>Cerebrum anterior - LotBasion durch Durchmesser Neurocranium</u>	<u><math>S\_CA-LotBa / S\_CA-CP</math></u>
Cerebrum anterior - LotSella durch Durchmesser Neurocranium	$S\_CA-LotS / S\_CA-CP$
Cerebrum anterior - LotOpisthion durch Durchmesser Neurocranium	$S\_CA-LotOp / S\_CA-CP$
Cerebrum anterior - LotPorion durch Durchmesser Neurocranium	$S\_CA-LotPo / S\_CA-CP$

### 2.3.2 Berechnung der Schnittwinkel

Die Berechnung der Schnittwinkel zwischen den einzelnen Strecken erfolgt mit Hilfe der Steigungen.

Steigung einer beliebigen Strecke A-B:  $m = \frac{(y_a - y_b)}{(x_a - x_b)}$  [14]

Der Schnittwinkel  $\alpha$  wird mit folgender Formel berechnet:

$$\tan(\alpha) = \left| \frac{(m_1 - m_2)}{(1 + m_1 * m_2)} \right| \quad [15]$$

Die Steigung der ersten Strecke, zum Beispiel Cerebrum anterior - Cerebrum posterior, wird mit  $m_1$  bezeichnet. Die Steigung der zweiten Strecke wird mit  $m_2$  gekennzeichnet.

Mit dieser Formel wird immer der kleinere Schnittwinkel zwischen zwei Geraden berechnet ( $\alpha < 90^\circ$ ). Bei der Betrachtung des Schnittwinkels zwischen Sella - Basion und Basion - Opisthion wird der größere Winkel ( $\beta$ ) benötigt:

$$\beta = 180^\circ - \alpha \quad [16]$$

Folgende Winkel werden berechnet:

Tabelle 6: Berechnete Schnittwinkel

Winkel	Abkürzung
Sella-Basion zu Basion - Opisthion (großer Schnittwinkel)	S_S-Ba zu S_Ba-Op
Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Basion - Opisthion	S_CA-CP zu S_Ba-Op
Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Sella - Nasion	S_CA-CP zu S_S-N
Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Orbitale - Porion (Frankfurter Horizontale)	S_CA-CP zu S_Or-Po

Die Lage der für die Winkel [Tabelle 6 ] verwendeten Strecken ist in Abbildung 6 eingezeichnet.

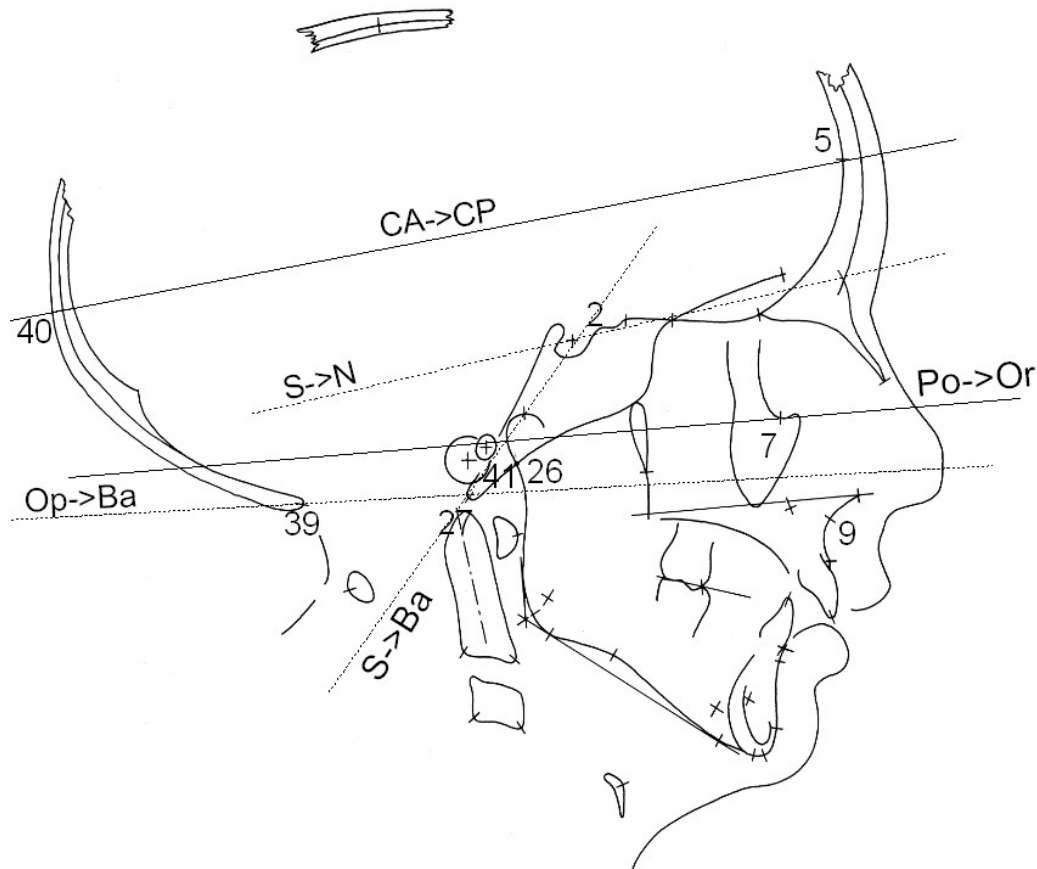


Abbildung 6: Strecken für Winkelbestimmung

Die Schnittwinkel Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Sella - Nasion und Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Basion - Opisthion liegen in der Mehrzahl der Fälle posterior vom Schädel, in einigen Fällen aber auch anterior. Dies ist der Fall, wenn die Steigung von Cerebrum anterior - Cerebrum posterior kleiner ist als die Steigung Sella-Nasion oder Basion - Opisthion. Diese anterioren Schnittwinkel werden mit einem negativen Vorzeichen versehen. Die Winkel Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Orbitale - Porion und Sella-Basion zu Basion - Opisthion liegen immer posterior.

### **2.3.3 Statistische Auswertung**

Die errechneten Daten werden in das Programm SPSS (Version 12.0 und 15.0) importiert und statistisch ausgewertet (Bühl und Zöfel 1996). Mit Hilfe des Programms werden Diagramme erstellt und verschiedene statistische Tests durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgt für männliche und weibliche Probanden getrennt, weil eine unterschiedliche Wachstumsentwicklung erwartet wird. Um die Wachstumsentwicklung analysieren zu können, wird das Alter der Probanden zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahmen mit den errechneten Strecken und Quotienten in Beziehung gesetzt.

#### **2.3.3.1 Erstellen von Streudiagrammen**

Für einen ersten Überblick über die Messdaten und zur Ausreißerkontrolle werden Streudiagramme erstellt. In den Streudiagrammen werden jeweils die Strecken, Quotienten und Winkel gegen das Alter der Probanden aufgetragen.

#### **2.3.3.2 Korrelationsbestimmung**

Für die Korrelationsanalyse wird mit Hilfe von SPSS der Pearson-Korrelationskoeffizient berechnet und ein Signifikanztest durchgeführt. Die Korrelation der Strecken, Quotienten und Winkel untereinander und zum Lebensalter werden berechnet.

### 2.3.3.3 Erstellung von Altersklassen

Um die Wachstumsentwicklungen der bestimmten Strecken und die Veränderungen der berechneten Winkel in Abhängigkeit vom Alter darzustellen, werden zunächst 7 Altersklassen gebildet. Die Klassen werden nach ihrem Mittelwert benannt.

Tabelle 7: Gebildete Altersklassen

Altersklassen der männlichen Personen				
Altersklasse	Häufigkeit N	Intervall [Jahre]	Mittelwert [Jahre]	Standardabweichung
7,0	119	6-8	7,0	0,49
9,1	141	8-10	9,1	0,57
11,0	126	10-12	11,0	0,55
12,9	145	12-14	12,9	0,59
14,9	122	14-16	14,9	0,56
17,2	100	16-20	17,2	0,88
27,4	50	20-32	27,4	2,91
Insgesamt	803	6-32	12,8	5,00

Altersklassen der weiblichen Personen				
Altersklasse	Häufigkeit N	Intervall [Jahre]	Mittelwert [Jahre]	Standardabweichung
7,1	98	6-8	7,1	0,49
9,1	122	8-10	9,1	0,52
11,0	135	10-12	11,0	0,58
13,0	125	12-14	13,0	0,58
14,9	120	14-16	14,9	0,60
17,2	95	16-20	17,2	0,80
28,2	40	20-32	28,2	2,31
Insgesamt	735	6-32	12,876	4,90

Für die ersten fünf Altersklassen mit einem Intervall von 2 Jahren zeigt sich eine sehr ähnliche Standardabweichung. Die Mittelwerte dieser Altersklassen liegen nahe an der Intervallmitte. Die Standardabweichung der sechsten und besonders der siebten Altersklasse ist, bedingt durch das größere Intervall,

höher. Der Mittelwert dieser Altersklassen liegt nicht mehr genau in der Intervallmitte. Die Fallzahlen der letzten Altersklasse liegen bei nur 50 (männlich) und 40 (weiblich); das ist nur ca. die Hälfte der übrigen Altersklassen.

### **2.3.3.4 Bestimmung der Mittelwerte**

Der Mittelwert berechnet sich aus der Summe der einzelnen Messwerte geteilt durch deren Anzahl.

Die Mittelwerte der unterschiedlichen Strecken, Quotienten und Winkel werden für die verschiedenen Altersklassen bestimmt und in tabellarischer Form dargestellt.

### **2.3.3.5 Grafische Darstellung der Mittelwerte**

Die grafische Darstellung erfolgt in Liniendiagrammen. Die Ergebnisse von männlichen und weiblichen Probanden werden in einem Liniendiagramm durch getrennte Linien dargestellt. Auf der x-Achse der Diagramme werden die Altersklassen und auf der y-Achse die Mittelwerte der Strecken, Quotienten oder Winkel der Altersklasse aufgetragen. Die Skalierung der x-Achse ist in allen Diagrammen gleich. Sie umfasst die Altersklassen in einem Intervall von 6-28 Jahren. Die y-Achse beinhaltet einen Bereich von 12 mm für die Strecken, einen Bereich von 4% für die Quotienten und einen Bereich von 8° für die Winkel. Dies gewährleistet eine gute Vergleichbarkeit der Messergebnisse.

### **2.3.3.6 Erstellung von Fehlerbalken**

Ferner werden Fehlerbalkendiagramme erstellt. Diese Diagramme visualisieren Abweichungen der Messwerte vom berechneten Mittelwert und helfen so bei der Interpretation der erstellten Liniendiagramme. In ihnen wird der Standardfehler des Mittelwerts mit dem Multiplikator 2 dargestellt. Der Standardfehler berechnet sich aus Standardabweichung der Grundgesamtheit durch Wurzel des Stichprobenumfangs.

### **2.3.3.7 Test auf Normalverteilung und einfaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem post hoc Scheffé-Test**

Mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test wird das Vorliegen einer Normalverteilung des Lebensalters, der Messstrecken, Quotienten und Winkel für jede Altersklasse geprüft. Bei  $p \geq 0,05$  liegt keine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung vor. Das Signifikanzniveau wird in dieser Untersuchung mit  $\alpha = 0,05$  festgelegt.

Bei Vorliegen einer Normalverteilung wird für die entsprechenden Strecken, Quotienten und Winkel eine einfaktorielle Varianzanalyse (Oneway Anova) mit anschließendem post hoc Scheffé-Test durchgeführt. Mit diesem Test wird überprüft, ob signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen den einzelnen Altersklassen bezüglich der Mittelwerte der Strecken, Quotienten und Winkel vorliegen. Bei Auftreten von signifikanten Unterschieden zwischen der ersten Altersklasse (7,0 bzw. 7,1) und der vorletzten Altersklasse (17,2) werden die Fehlerbalkendiagramme mit einem Sternchen (\*) gekennzeichnet. Sind die Unterschiede der Mittelwerte nicht signifikant werden sie im Text mit (<sup>ns</sup>) gekennzeichnet. Es wird nicht die letzte Altersklasse gewählt, weil sie erheblich schwächer besetzt ist als die vorletzte Altersklasse und das Alter der Probanden in ihr nicht normalverteilt ist.

### 2.3.3.8 Fehlerbestimmung

Die Fehlerbestimmung erfolgte für die Groninger Studie mit Hilfe von wiederholten Durchzeichnungen des gleichen Fernröntgenseitenbild. Es wurden zunächst 10 Durchzeichnungen angefertigt und digitalisiert und in einem Abstand von einem Monat wurde das Verfahren nochmals wiederholt. Dabei wurden für 47 kephalometrische Punkte die x- und y-Koordinaten bestimmt.

Die resultierenden 20 Datensätze mit den Koordinaten der 47 Punkte wurden mit Hilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate überlagert. Für die Überlagerung wurden zunächst die Punkte 2, 3, 6, 12, 14, 25, 26, 27, 29, 34, 35, 37 ausgewählt und mit der Methode der kleinsten Quadrate die Überlagerung der 20 Datensätze bestimmt. Für die überlagerten Punkte wurden die zugehörigen Fehlerellipsen berechnet. Je kleiner die Fehlerellipse eines Punktes ist, um so reproduzierbarer ist seine Bestimmung. Anschließend wurden die 5 Punkte mit den kleinsten Fehlerellipsen herausgesucht und mit diesen Punkte (2, 6, 14, 34, 36) die Überlagerung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate nochmals durchgeführt. Die 20 Datensätze mit den digitalisierten Messpunkten wurden entsprechend der bestimmten Überlagerungsparameter in eine schematische in [Abbildung 7] gezeigte Durchzeichnung eingezeichnet.

Zusätzlich wurde für jeden Punkt die Fehlerellipse eingezeichnet, wobei der Schnittpunkt der beiden Ellipsenachsen dem Mittelwert der 20 Messwerte für den jeweiligen Punkt entspricht. Die 20 Messungen eines kephalometrischen Punktes beschreiben eine Punktwolke, die um den Mittelwert des jeweiligen Punktes streut. Die Punktwolke wird als Ellipse dargestellt, deren Ausdehnung die Streuung und „Streuungsrichtung“ der Punktwolke um den Mittelwert beschreibt. Die Ellipse ist etwas größer als die Punktwolke, wobei Ausreißer aber außerhalb der Ellipse liegen. Die Ellipsen sind von einem Quadrat umgeben, das jeweils in 4 Unterquadrate aufgeteilt ist. Die Kantenlänge des Quadrats beträgt 4 mm und dessen Mittelpunkt entspricht dem Mittelwert des jeweiligen Punktes. Es zeigt sich nun, dass die Bestimmung einiger Punkte, wie



zum Beispiel Cerebrum anterior mit höherer Fehlerquote verbunden ist als die Bestimmung von anatomisch sehr eindeutigen Punkten wie Nasion und Sella.

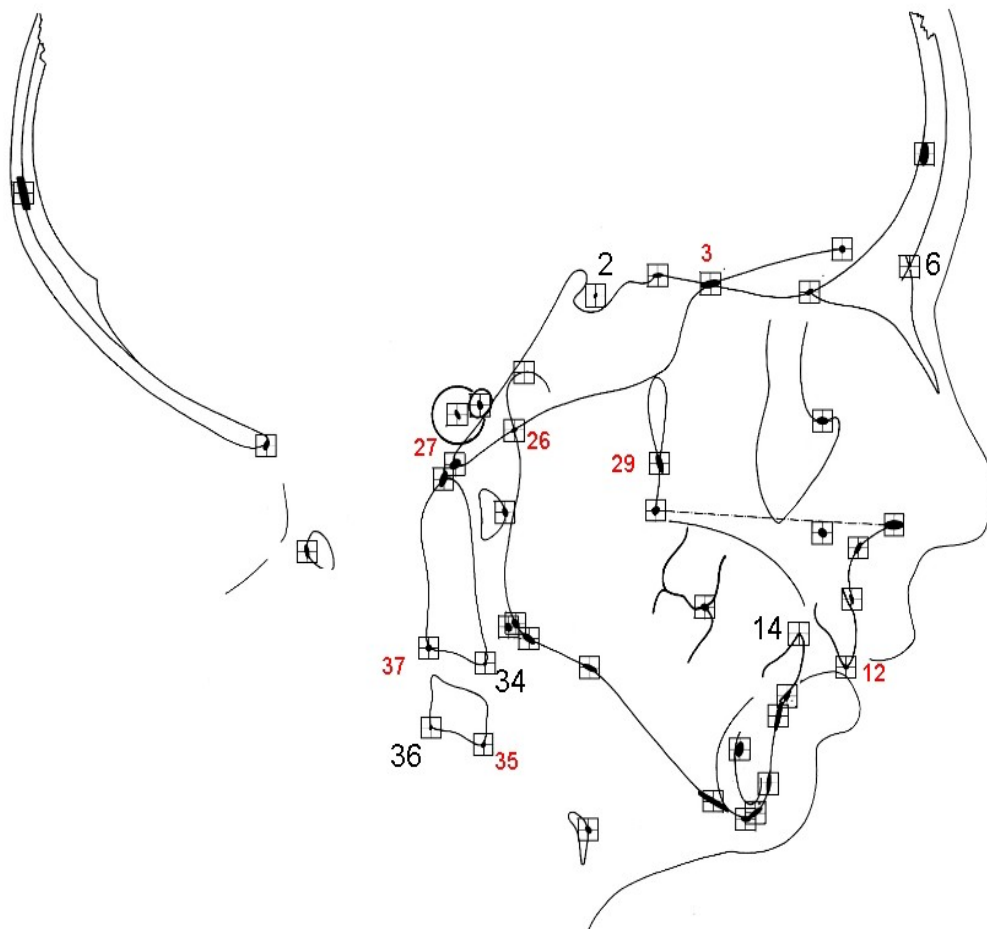


Abbildung 7: Fehlerbestimmung

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Mittelwerte der Streckenlängen

##### 3.1.1 Durchmesser Neurocranium (Streckenlänge Cerebrum anterior - Cerebrum posterior)

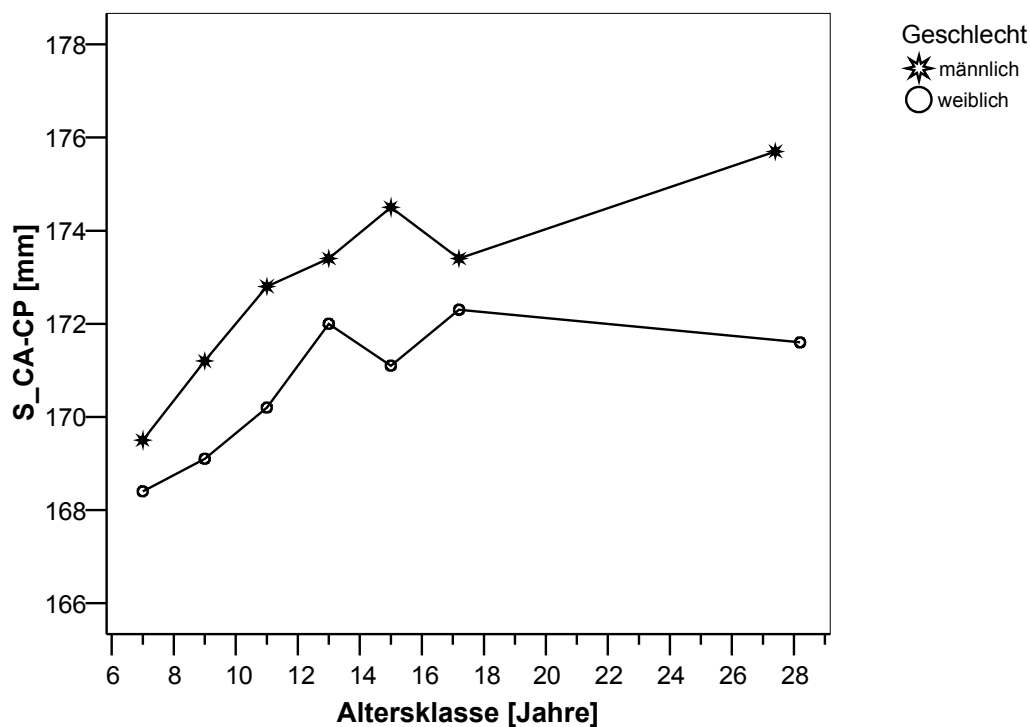


Abbildung 8: Strecke Cerebrum anterior nach Cerebrum posterior

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen stetigen Anstieg und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 14,9 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 13,0 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich ist das Wachstum und die Wachstumsgeschwindigkeit verhältnismäßig groß. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 14,9-27,4 für männliche Personen und 13,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab; die Wachstumsgeschwindigkeit und damit der Zuwachs sind hier geringer. Die Kurve knickt in diesem Bereich leicht ein. Insgesamt wächst die Strecke durchschnittlich um 6,2 mm bei den Männern und um 3,2 mm bei den Frauen

über den gesamten Altersbereich. Der Gesamtdurchmesser des Neurocraniums ist bei den männlichen Probanden durchschnittlich zu jedem Zeitpunkt größer als bei den weiblichen.

### 3.1.2 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotNasion

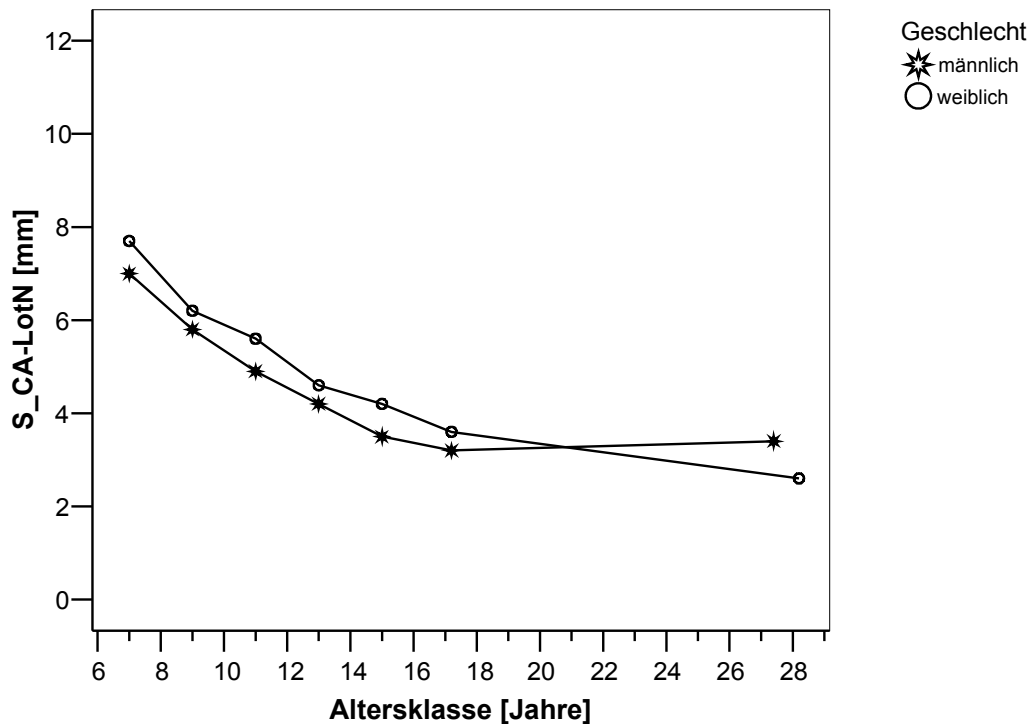


Abbildung 9: Strecke Cerebrum anterior nach LotNasion

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen, die fließend ineinander übergehen. Der erste Abschnitt zeigt einen nahezu linearen Abfall und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 12,9 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 13,0 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich verkürzt sich die Strecke CA-LotN am stärksten. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 12,9-27,4 für männliche Personen und 13,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve kontinuierlich ab; die Streckenverkürzung und die Wachstumsprozesse sind hier geringer ausgeprägt und stagnieren bei weiblichen Person ab der Altersklasse 17,2. Insgesamt verkürzt sich die Strecke durchschnittlich um 3,6 mm bei den Männern und um 5,1 mm bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Der Kurvenverlauf ist bei den männlichen und weiblichen Probanden sehr ähnlich.

### 3.1.3 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotOrbitale

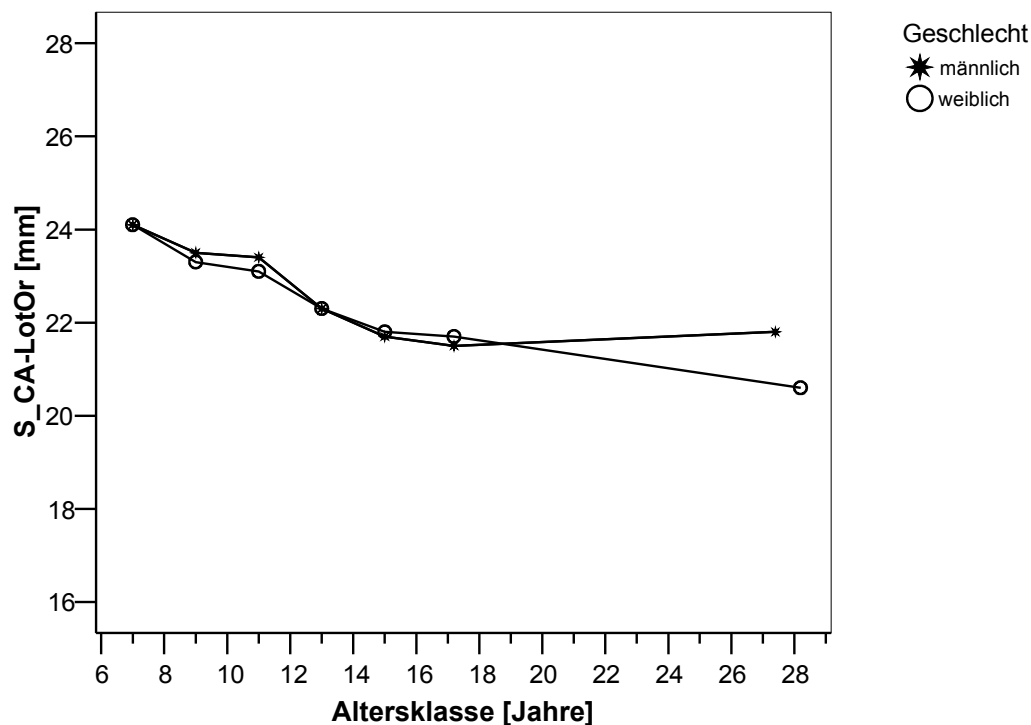


Abbildung 10: Strecke Cerebrum anterior nach LotOrbitale

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen, die kontinuierlich ineinander übergehen und nicht sehr klar voneinander abgrenzbar sind. Der erste Abschnitt zeigt einen Abfall der Kurve und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 14,9 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 14,9 bei den weiblichen Probanden. In diesem Abschnitt verläuft die Kurve nicht linear. In diesem Bereich verkürzt sich die Strecke CA-LotOr am stärksten. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 14,9-27,4 für männliche Personen und 14,9-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve stetig ab; die Streckenverkürzung und die Wachstumsprozesse sind hier geringer und stagnieren bei männlichen Person ab der Altersklasse 17,2. Insgesamt verkürzt sich die Strecke durchschnittlich um 2,3 mm bei den Männern und um 3,5 mm bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Der Kurvenverlauf ist bei den männlichen und weiblichen Probanden sehr ähnlich.

### 3.1.4 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotA-Punkt

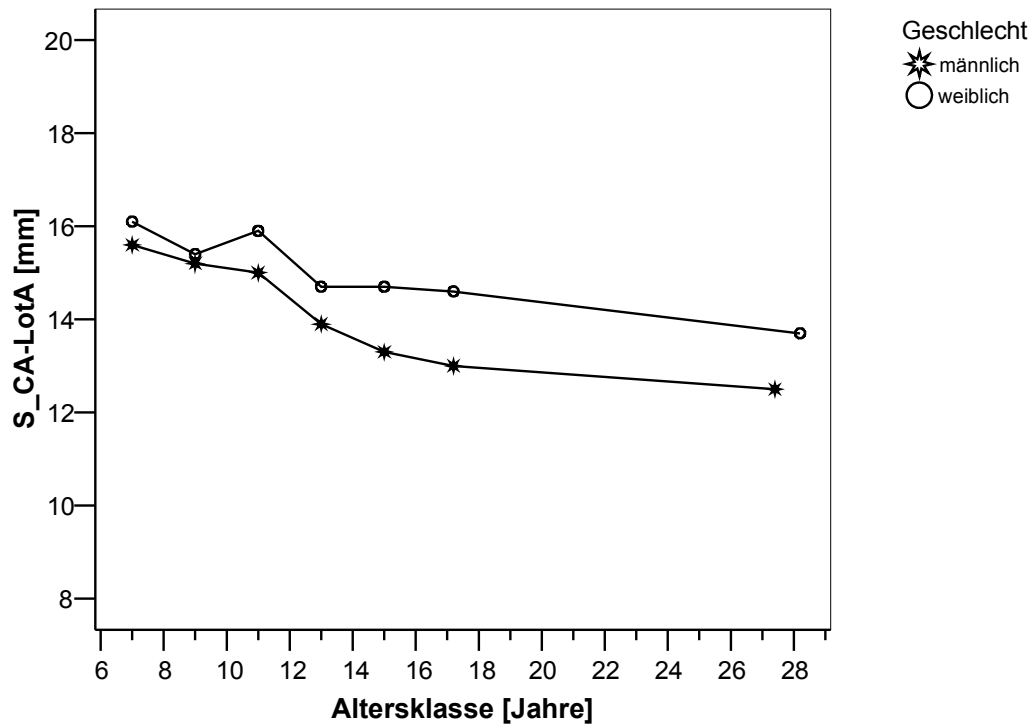


Abbildung 11: Strecke Cerebrum anterior nach LotA-Punkt

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt insgesamt einen Abfall der Kurve, der aber nicht gleichmäßig linear verläuft und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 14,9 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 13,0 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich verkürzt sich die Strecke CA-LotA. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 14,9-27,4 für männliche Personen und 13,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab; die Streckenverkürzung und die Wachstumsprozesse sind hier sehr gering und stagnieren nahezu. Insgesamt verkürzt sich die Strecke durchschnittlich um 3,1 mm bei den Männern und um 2,4 mm bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Die Gesamtstreckenlänge ist bei den weiblichen Probanden durchschnittlich zu jedem Zeitpunkt größer als bei den männlichen Probanden.

### 3.1.5 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotArticulare

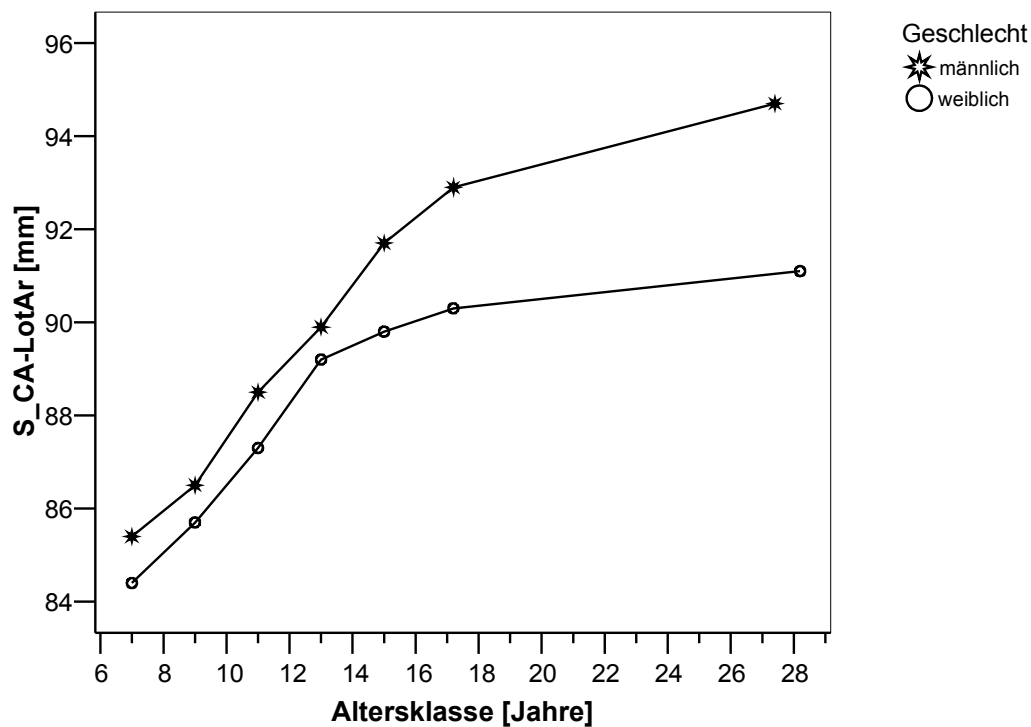


Abbildung 12: Strecke Cerebrum anterior nach LotArticulare

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen nahezu linearen Anstieg und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 13,0 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich ist die Veränderung der Strecke verhältnismäßig groß. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 13,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab; die Wachstumsgeschwindigkeit und das Wachstum sind hier geringer. Insgesamt wächst die Strecke durchschnittlich um 9,3 mm bei den Männern und um 6,7 mm bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Die Gesamtstreckenlänge ist bei den männlichen Probanden immer größer als bei den weiblichen.

### 3.1.6 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotBasion

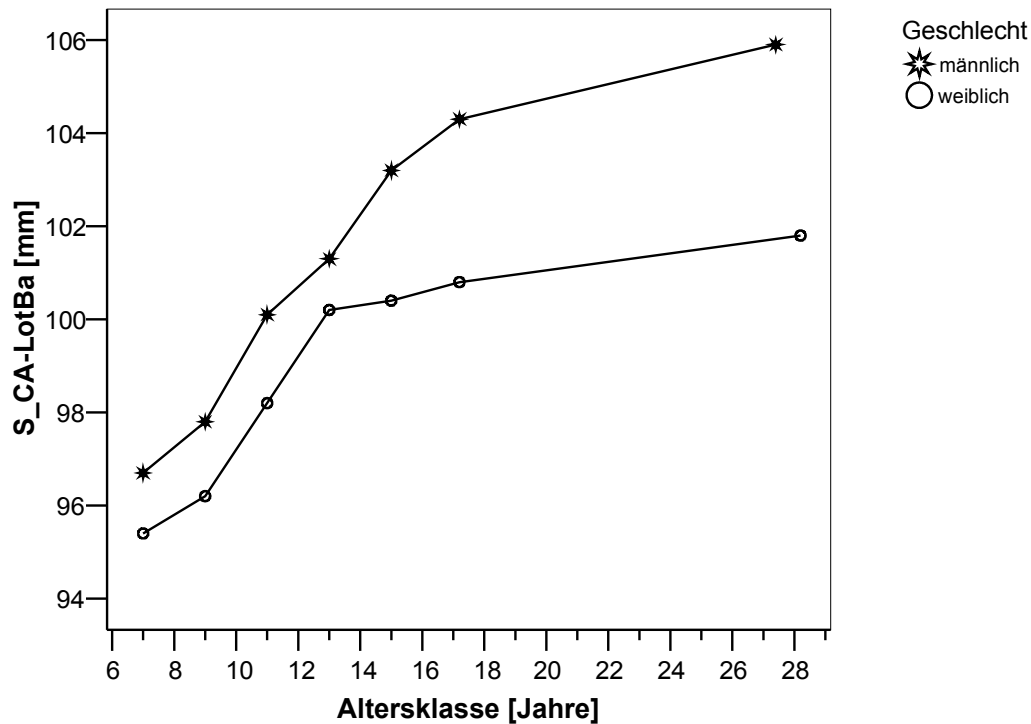


Abbildung 13: Strecke Cerebrum anterior nach LotBasion

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen nahezu linearen stetigen Anstieg und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 13,0 bei den weiblichen Probanden. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 13,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab. Insgesamt wächst die Strecke durchschnittlich um 9,2 mm bei den Männern und um 6,4 mm bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Die Gesamtstreckenlänge ist bei den männlichen Probanden immer größer als bei den weiblichen.



### 3.1.7 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotSella

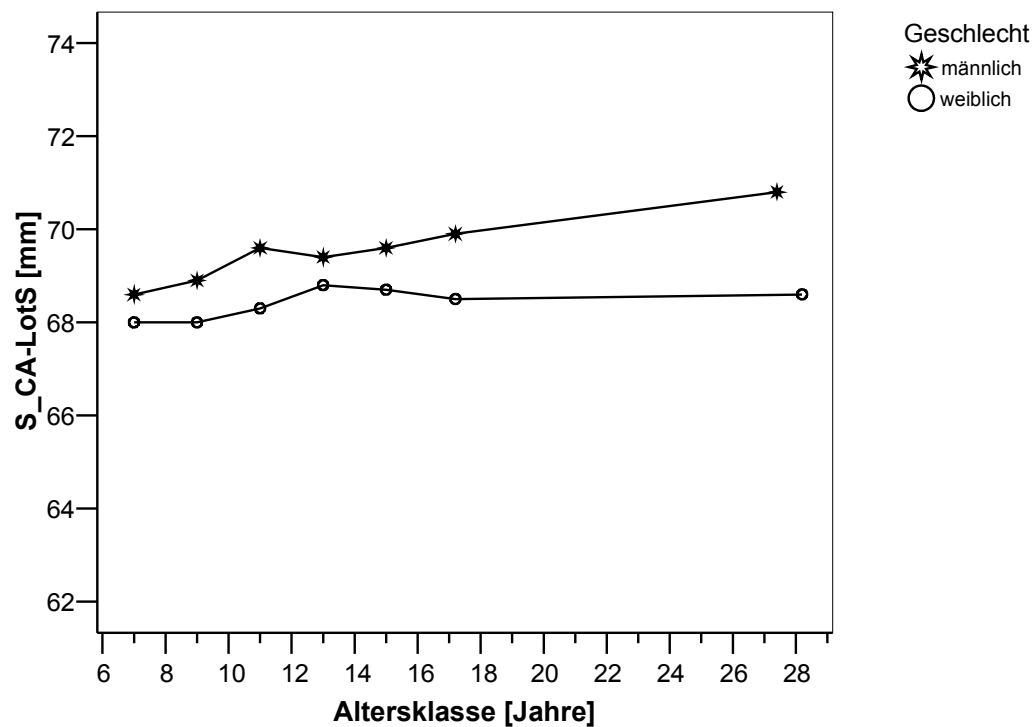


Abbildung 14: Strecke Cerebrum anterior nach LotSella

Das Wachstum der Strecke ist recht homogen und insgesamt eher gering. Bei den männlichen Personen zeigt sich ein fast linearer Anstieg der Kurve über den gesamten Messbereich. Insgesamt wächst die Strecke durchschnittlich um 2,2 mm bei den Männern und um 0,6 mm<sup>ns</sup> bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Die Gesamtstreckenlänge ist bei den männlichen Probanden immer größer als bei den weiblichen.

---

<sup>ns</sup>=nicht signifikante Differenz zwischen den Mittelwerte der ersten und vorletzten Altersklasse

### 3.1.8 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotOpisthion

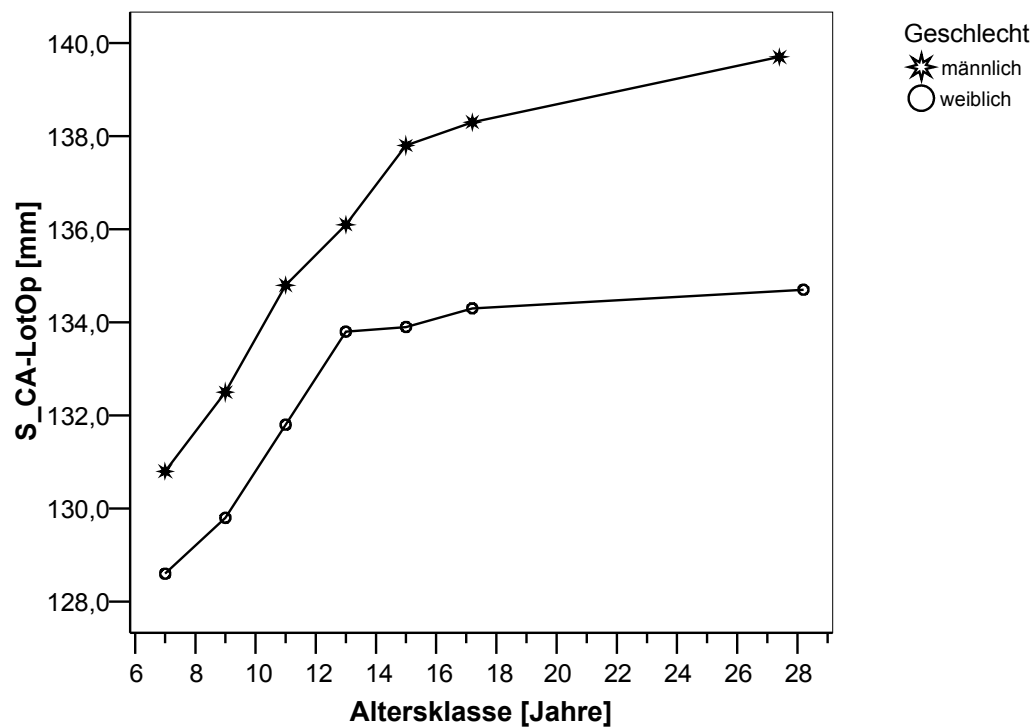


Abbildung 15: Strecke Cerebrum anterior nach LotOpisthion

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen nahezu linearen und stetigen Anstieg und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 14,9 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 13,0 bei den weiblichen Probanden. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 14,9-27,4 für männliche Personen und 13,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab, die Wachstumsgeschwindigkeit und auch das Wachstum sind hier geringer. Insgesamt wächst die Strecke durchschnittlich um 8,9 mm bei den Männern und um 6,1 mm bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Die Gesamtstreckenlänge ist bei den männlichen Probanden immer größer als bei den weiblichen.

### 3.1.9 Streckenlänge Cerebrum anterior - LotPorion

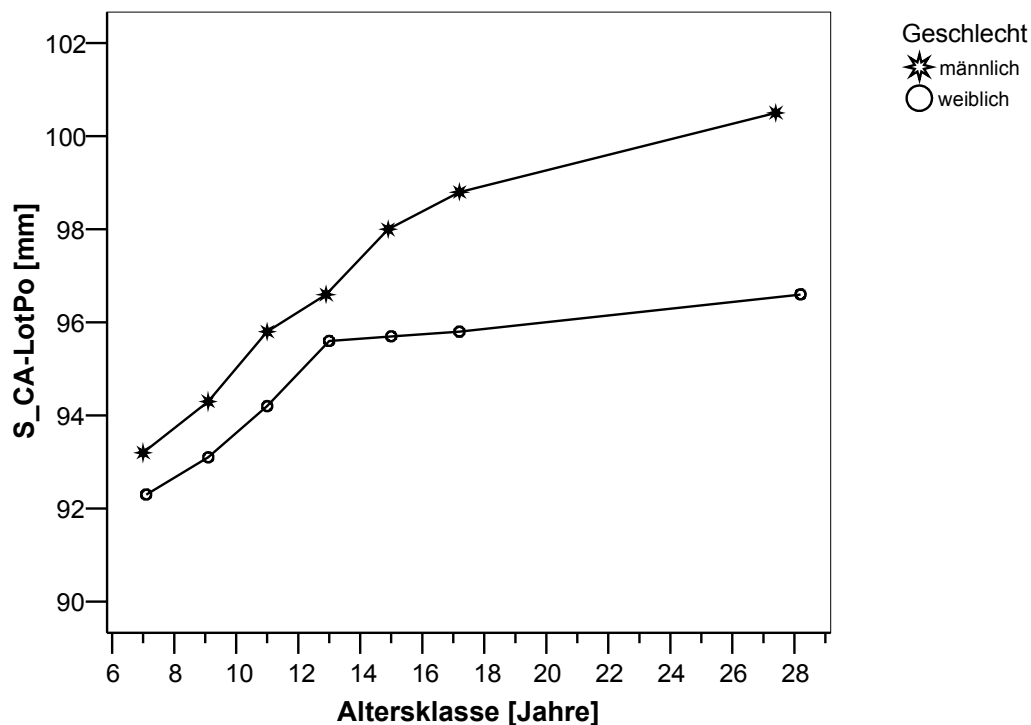


Abbildung 16: Strecke Cerebrum anterior nach LotPorion

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen nahezu linearen und stetigen Anstieg und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 14,9 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 13,0 bei den weiblichen Probanden. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 14,9-27,4 für männliche Personen und 13,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab; das Wachstum und die Wachstumsgeschwindigkeit der Strecke sind hier geringer. Bei den weiblichen Probanden ist das Abflachen der Kurve stärker ausgeprägt und eindeutiger als bei den männlichen Probanden, hier flacht die Kurve nur allmählich ab. Insgesamt wächst die Strecke durchschnittlich um 7,3 mm bei den Männern und um 4,3 mm bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Die Gesamtstreckenlänge ist bei den männlichen Probanden immer größer als bei den weiblichen.

### 3.1.10 Streckenlänge Cerebrum posterior - LotArticulare

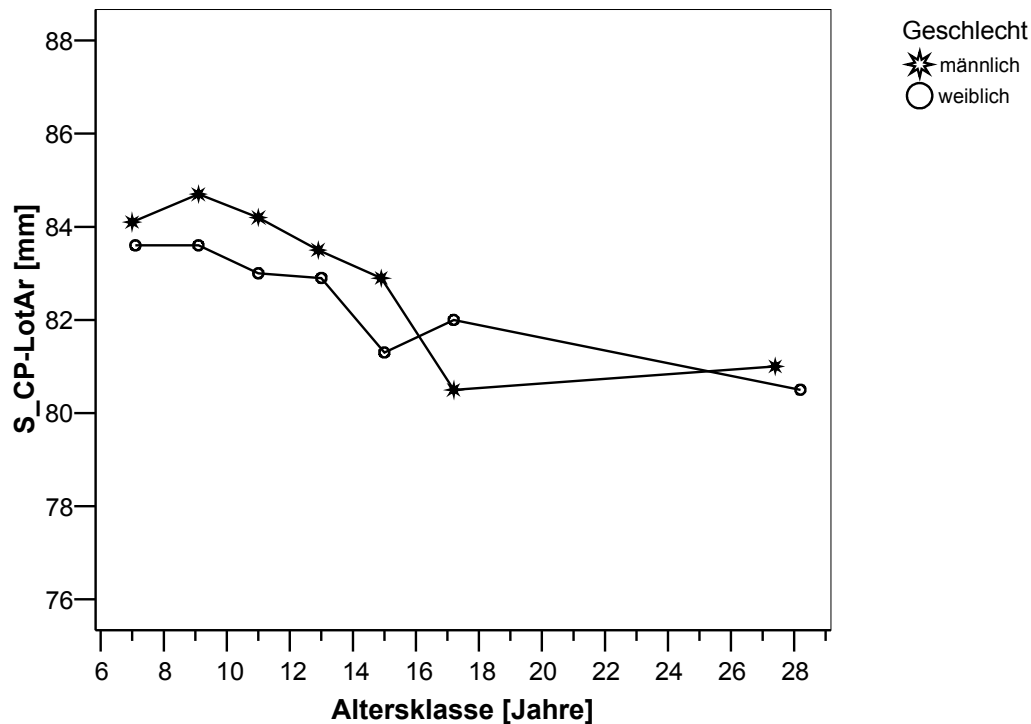


Abbildung 17: Strecke Cerebrum posterior nach LotArticulare

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen Abfall und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 14,9 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich verkürzt sich die Strecke am stärksten. Es fällt auf, dass bei den Männern von der Altersklasse 7,0 bis 9,1 ein leichtes Wachstum der Strecke stattfindet. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 14,9-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab, die Wachstumsgeschwindigkeit und auch das Wachstum sind hier geringer. Die Kurve knickt in diesem Bereich bei den Frauen leicht ein. Insgesamt verkürzt sich die Strecke durchschnittlich um 3,1 mm bei den Männern und um 3,1 mm<sup>ns</sup> bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

### 3.1.11 Streckenlänge Cerebrum posterior - LotBasion

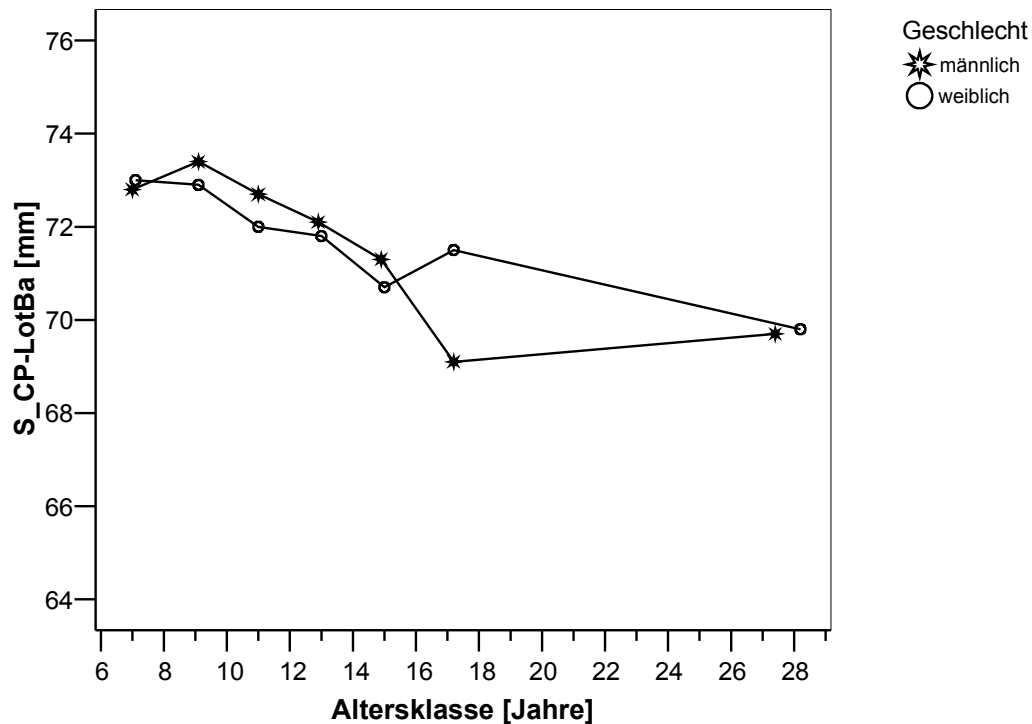


Abbildung 18: Strecke Cerebrum posterior nach LotBasion

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen Abfall und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 14,9 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich verkürzt sich die Strecke am stärksten. Es fällt auf, dass bei den Männern von der Altersklasse 7,0 bis 9,1 ein leichtes Wachstum der Strecke stattfindet. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 14,9-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab, die Wachstumsgeschwindigkeit und auch das Wachstum sind hier geringer. Die Kurve knickt in diesem Bereich bei den Frauen leicht ein. Insgesamt verkürzt sich die Strecke durchschnittlich um 3,1 mm bei den Männern und um 3,2 mm<sup>ns</sup> bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

### 3.1.12 Streckenlänge Cerebrum posterior - LotSella

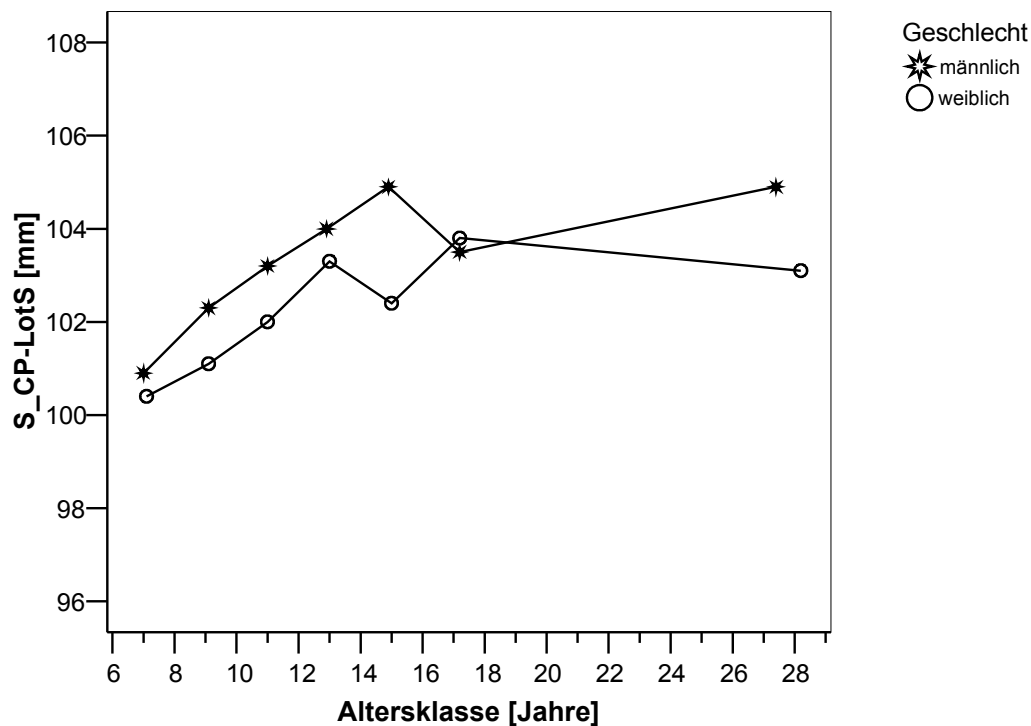


Abbildung 19: Strecke Cerebrum posterior nach LotSella

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen nahezu linearen und stetigen Anstieg und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 12,9 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 11,0 bei den weiblichen Probanden. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 12,9-27,4 für männliche Personen und 11,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab und knickt bei der Altersklasse 17,2 bei den Männern und 14,9 bei den Frauen leicht ein. Insgesamt wächst die Strecke durchschnittlich um 4,0 mm<sup>ns</sup> bei den Männern und um 2,7 mm bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

### 3.1.13 Streckenlänge Cerebrum posterior - LotOpisthion

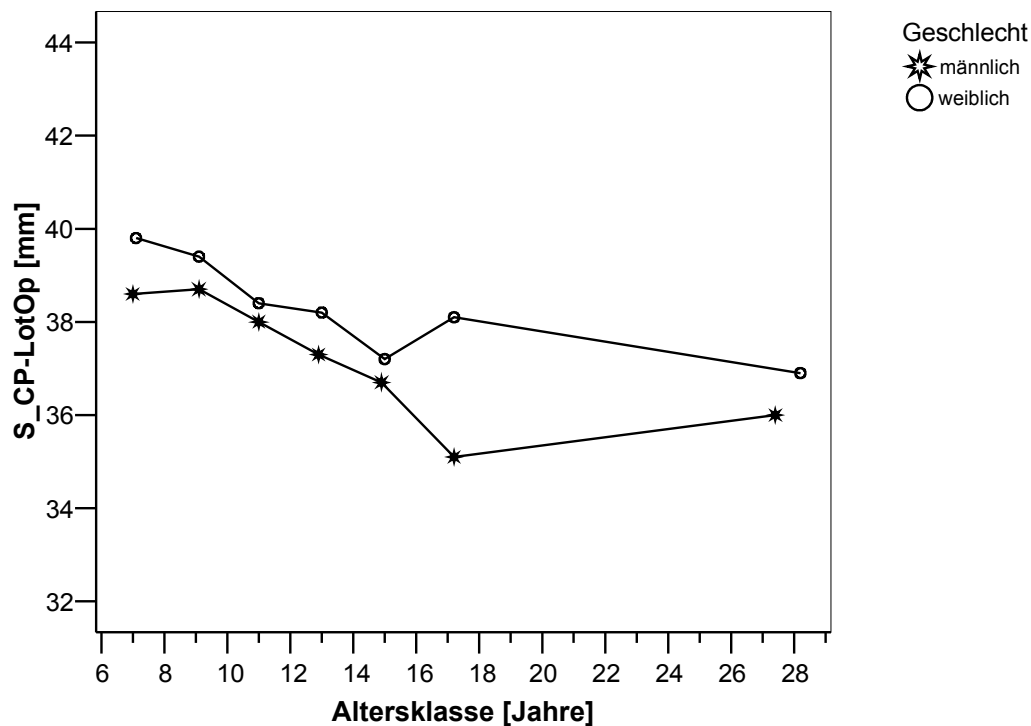


Abbildung 20: Strecke Cerebrum posterior nach LotOpisthion

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen Abfall und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 14,9 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich verkürzt sich die Strecke am stärksten. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 14,9-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab, die Streckenverkürzung ist hier geringer. Die Kurve knickt in diesem Bereich bei den Frauen leicht ein. Insgesamt verkürzt sich die Strecke durchschnittlich um 2,6 mm bei den Männern und um 2,9 mm<sup>ns</sup> bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Die Gesamtstreckenlänge ist bei den männlichen Probanden durchschnittlich immer kleiner als bei den weiblichen.

### 3.1.14 Streckenlänge Cerebrum posterior - LotPorion

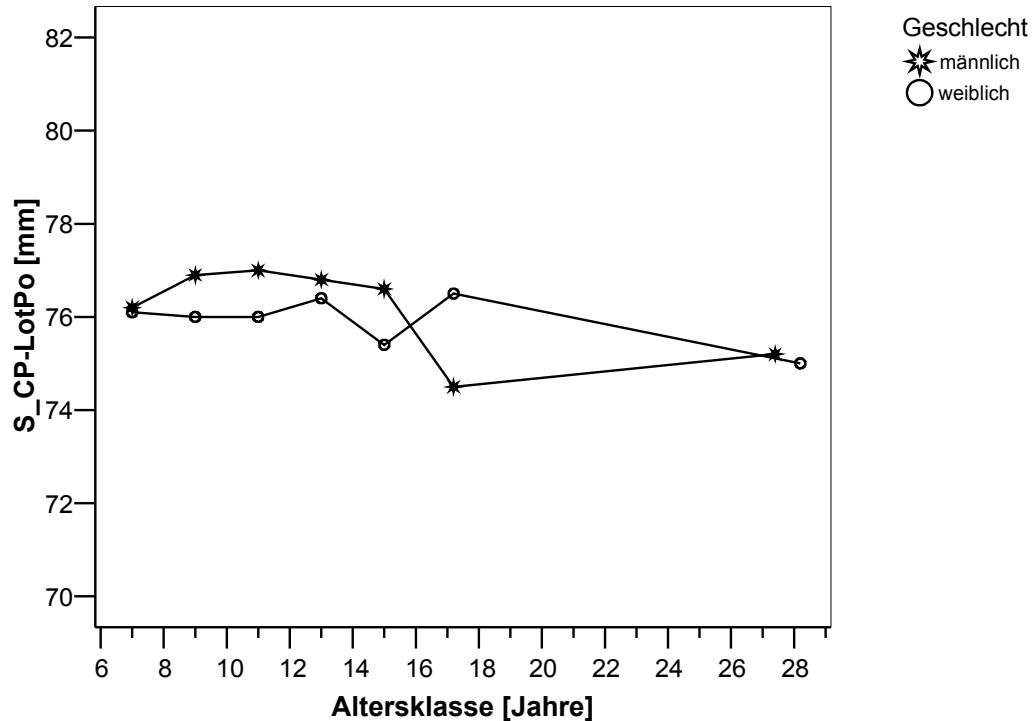


Abbildung 21: Strecke Cerebrum posterior nach LotPorion

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich nicht klar in verschiedene Abschnitte unterteilen. Die Verkürzung der Strecke ist bei den männlichen und weiblichen Personen sehr gering. Bei den männlichen Personen zeigt sich die größte Längenveränderung zwischen der Altersklasse 14,9 und 17,2. In diesem Bereich verkürzt sich die Strecke um 2,1 mm. Bei den weiblichen Personen zeigt sich die größte Längenveränderung zwischen der Altersklasse 17,2 und 28,2. In diesem Bereich verkürzt sich die Strecke um 1,5 mm. Insgesamt verkürzt sich die Strecke durchschnittlich um 1,0 mm<sup>ns</sup> bei den Männern und um 1,1 mm<sup>ns</sup> bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.



### 3.1.15 Streckenlänge LotSella - LotBasion

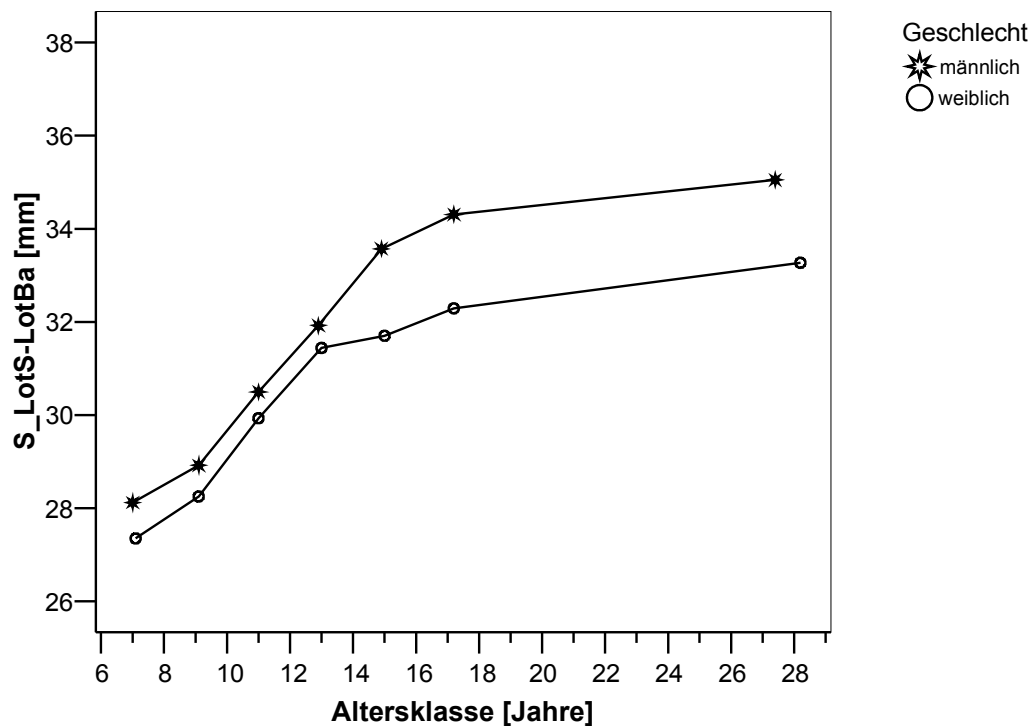


Abbildung 22: Strecke LotSella nach LotBasion

Die Wachstumskurve der Strecke lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen nahezu linearen und stetigen Anstieg und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 14,9 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 13,0 bei den weiblichen Probanden. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 14,9-27,4 für männliche Personen und 13,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab, das bedeutet, Streckenveränderungen sind hier geringer. Insgesamt wächst die Strecke durchschnittlich um 7,0 mm bei den Männern und um 5,9 mm bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Die Gesamtstreckenlänge ist bei den männlichen Probanden immer größer als bei den weiblichen.

### 3.1.16 Streckenlänge Sella - Cerebrum superior

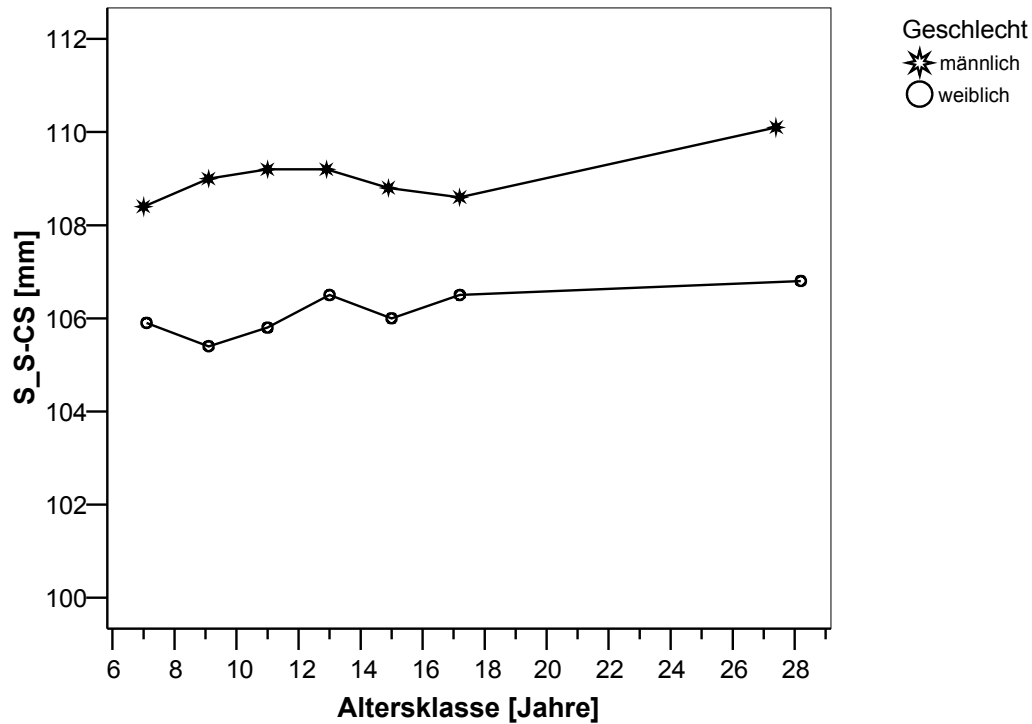


Abbildung 23: Strecke Sella nach Cerebrum superior

Die Veränderung der Strecke ist sehr gering. Die Kurve verläuft fast horizontal. Ein etwas stärkerer Anstieg der Kurve zeigt sich bei den Männern von der Altersklasse 17,2 bis 27,4. Insgesamt wächst die Strecke durchschnittlich um 1,7 mm<sup>ns</sup> bei den Männern und um 0,9 mm<sup>ns</sup> bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Die Gesamtstreckenlänge ist bei den männlichen Probanden immer größer als bei den weiblichen.

### 3.1.17 Streckenlänge Cerebrum superior - LotCerebrum superior

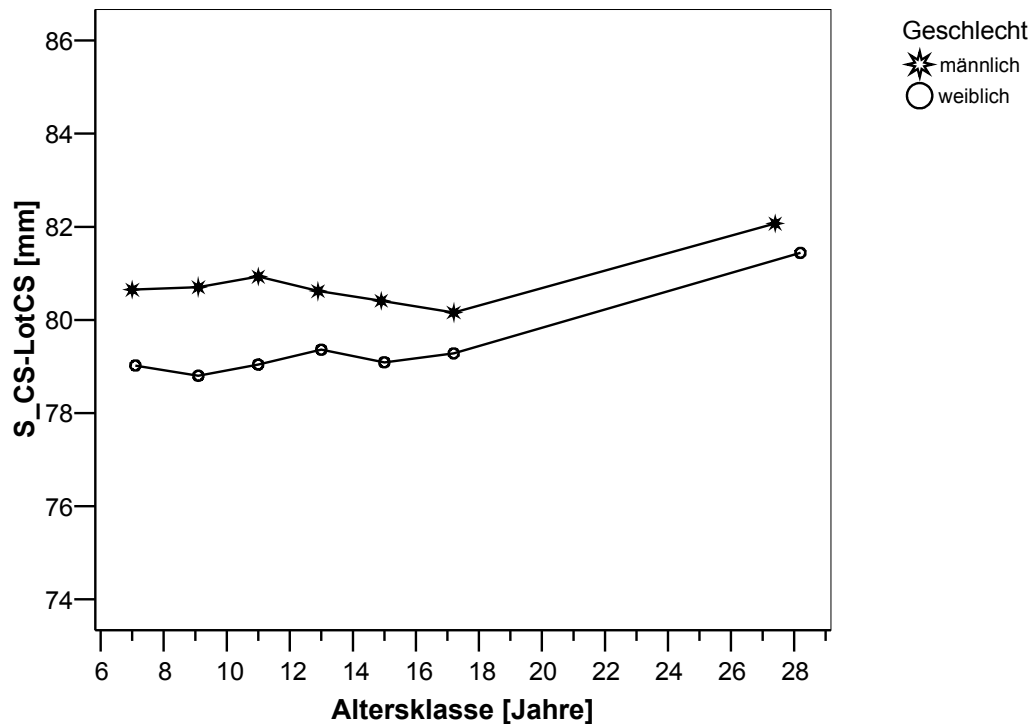


Abbildung 24: Strecke Cerebrum superior nach LotCerebrum superior

Die Veränderung der Strecke ist sehr gering. Die Kurve verläuft fast horizontal. Ein etwas stärkerer Anstieg der Kurve zeigt sich bei den Männern bei der Altersklasse 17,2 bis 27,4 und Frauen bei der Altersklasse 17,2 bis 28,2. Insgesamt wächst die Strecke durchschnittlich um 1,4 mm<sup>ns</sup> bei den Männern und um 2,4 mm<sup>ns</sup> bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Die Gesamtstreckenlänge ist bei den männlichen Probanden immer größer als bei den weiblichen.

### 3.2 Mittelwerte der Quotienten (Strecke Cerebrum anterior - Lotfußpunkte durch den Durchmesser des Neurocraniums)

#### 3.2.1 Cerebrum anterior - LotNasion durch Durchmesser Neurocranium

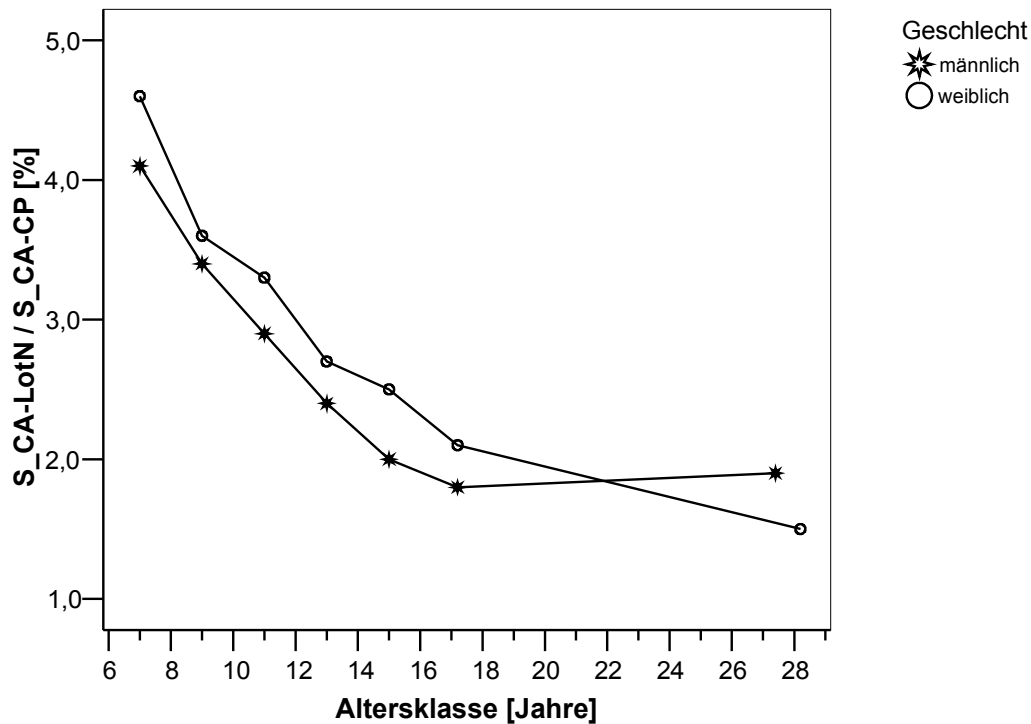


Abbildung 25: Quotient Cerebrum anterior - LotNasion durch Durchmesser Neurocranium

Die Kurve des Quotienten lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen, die kontinuierlich ineinander übergehen. Der erste Abschnitt zeigt einen nahezu linearen Abfall und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 14,9 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 17,2 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich verringert sich der Quotient am stärksten. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 14,9-27,4 für männliche Personen und 17,2-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab; die Streckenverkürzung ist hier geringer. Insgesamt verringert sich der Quotient um durchschnittlich 2,2 Prozentpunkte bei den Männern und um 3,1 Prozentpunkte bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Der Kurvenverlauf ist bei den männlichen und weiblichen Probanden sehr ähnlich.

### 3.2.2 Cerebrum anterior - LotOrbitale durch Durchmesser Neurocranium

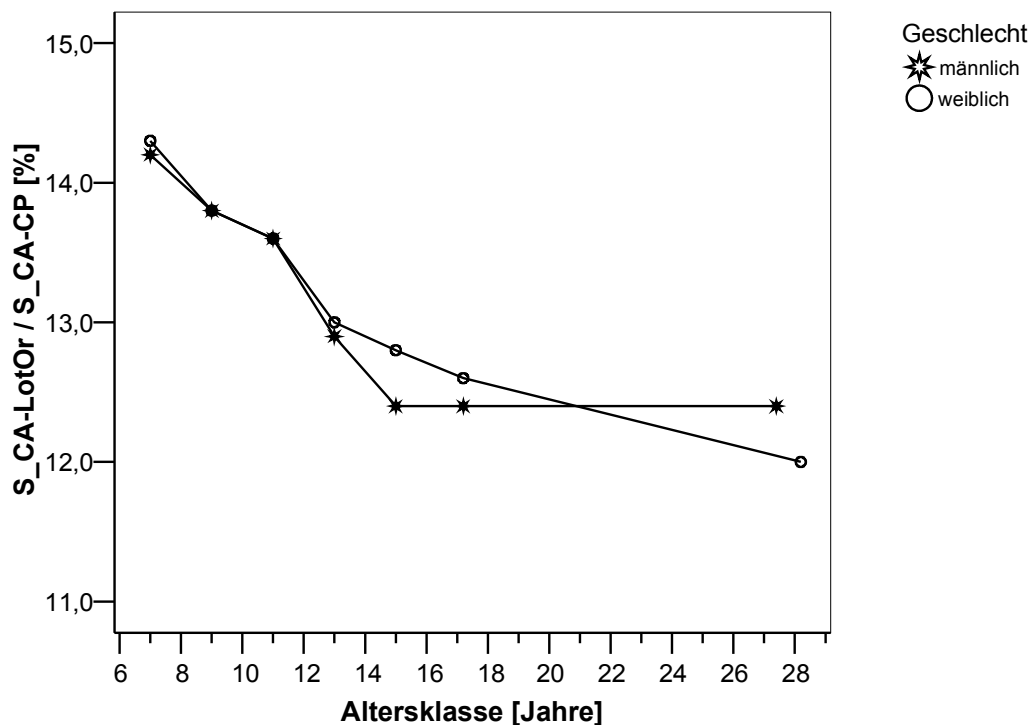


Abbildung 26: Quotient Cerebrum anterior - LotOrbitale durch Durchmesser Neurocranium

Die Kurve des Quotienten lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen starken Abfall der Kurve und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 14,9 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 13,0 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich verringert sich der Quotient verhältnismäßig stark. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 14,9-27,4 für männliche Personen und 13,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab. Bei den männlichen Probanden tritt faktisch keine Veränderung des Quotienten mehr auf. Bei den weiblichen Probanden ist die Veränderung des Quotienten geringer als im ersten Abschnitt, aber im Gegensatz zu den Männern noch vorhanden. Insgesamt verringert sich der Quotient um durchschnittlich 1,8 Prozentpunkte bei den Männern und um 2,3 Prozentpunkte bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

### 3.2.3 Cerebrum anterior - LotA-Punkt durch Durchmesser Neurocranium

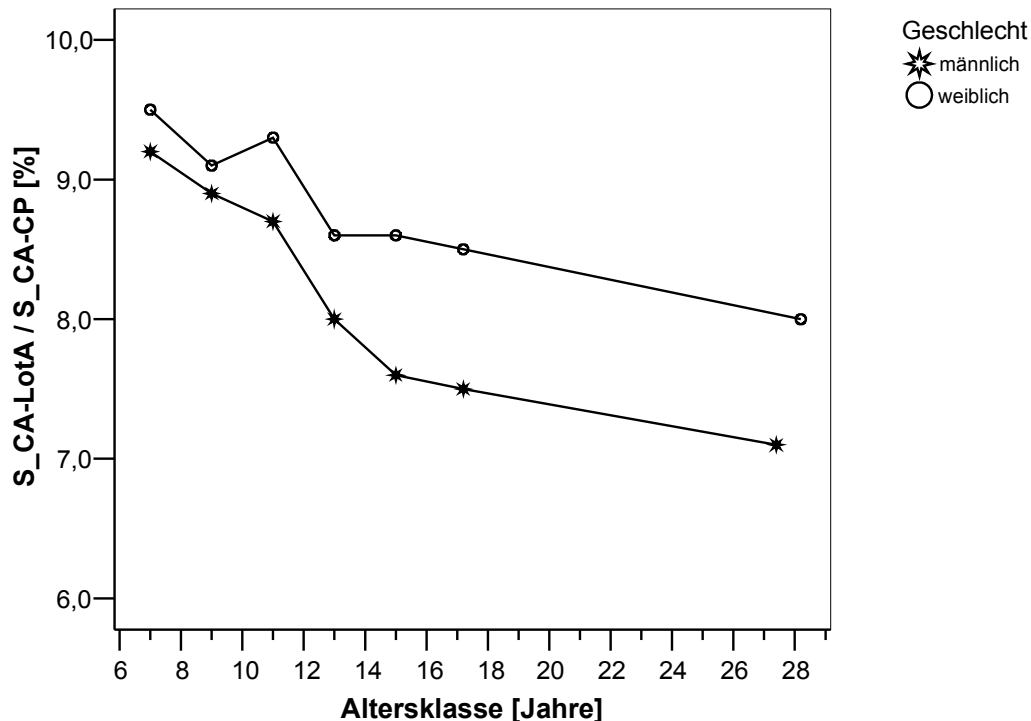


Abbildung 27: Quotient Cerebrum anterior - LotA-Punkt durch Durchmesser Neurocranium

Die Kurve des Quotienten lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen starken Abfall der Kurve und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 14,9 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 13,0 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich verringert sich der Quotient verhältnismäßig stark. Dieser Abschnitt zeigt bei den männlichen Personen im Gegensatz zu den weiblichen Personen einen sehr kontinuierlichen, fast linearen Verlauf. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 14,9-27,4 für männliche Personen und 13,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab. Es findet nur noch eine geringe Veränderung des Quotienten statt. Insgesamt verringert sich der Quotient um durchschnittlich 2,1 Prozentpunkte bei den Männern und um 1,5 Prozentpunkte<sup>ns</sup> bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

### 3.2.4 Cerebrum anterior - LotArticulare durch Durchmesser Neurocranium

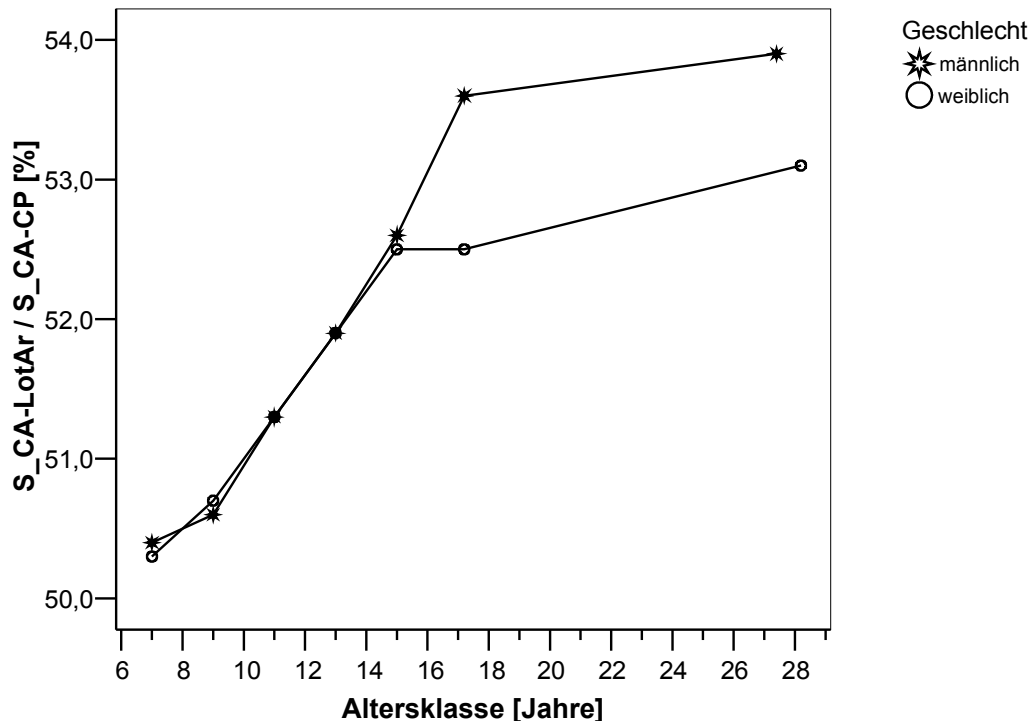


Abbildung 28: Quotient Cerebrum anterior - LotArticulare durch Durchmesser Neurocranium

Die Kurve des Quotienten lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen nahezu linearen Anstieg und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 13,0 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich ist die Veränderung des Quotienten relativ groß. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 13,0-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab, das heißt, der Quotient verändert sich hier noch in einem sehr geringen Umfang. Insgesamt beträgt die Veränderung des Quotienten durchschnittlich 3,5 Prozentpunkte bei den Männern und 2,8 Prozentpunkte bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Der Kurvenverlauf der männlichen und weiblichen Personen und deren mittlere Quotienten sind in den ersten 5 Altersklassen fast identisch.

### 3.2.5 Cerebrum anterior - LotBasion durch Durchmesser Neurocranium

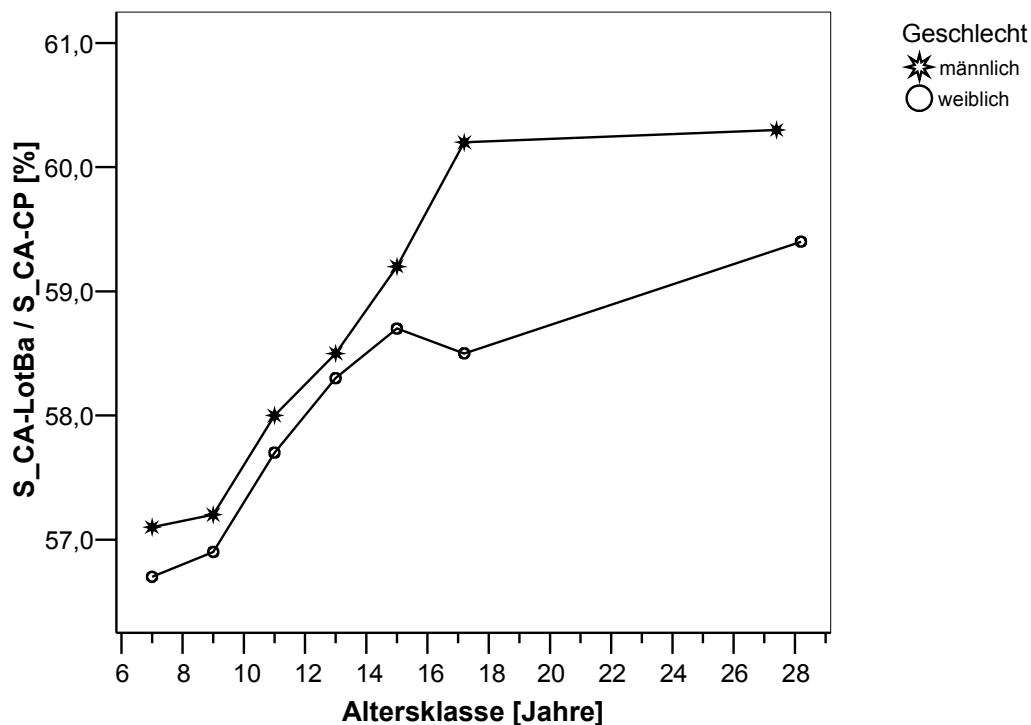


Abbildung 29: Quotient Cerebrum anterior - LotBasion durch Durchmesser Neurocranium

Die Kurve des Quotienten lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Im ersten Abschnitt zeigt die Kurve einen stetigen, nahezu linearen Anstieg und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 14,9 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich ist die Veränderung des Quotienten relativ groß. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 14,9-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab, das heißt, der Quotient verändert sich hier noch in einem sehr geringen Umfang, der Graph der weiblichen Probanden knickt allerdings bei der Altersklasse 17,2 leicht ein. Insgesamt beträgt die Veränderung des Quotienten durchschnittlich 3,2 Prozentpunkte bei den Männern und 2,7 Prozentpunkte bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.



### 3.2.6 Cerebrum anterior - LotSella durch Durchmesser Neurocranium

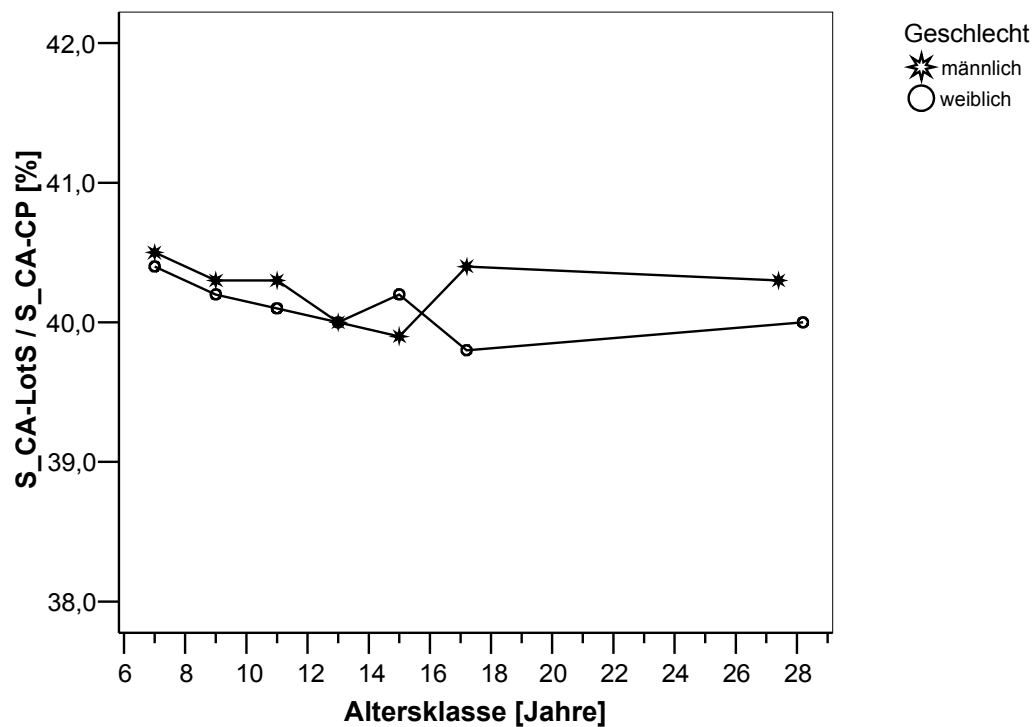


Abbildung 30: Quotient Cerebrum anterior - LotSella durch Durchmesser Neurocranium

Die Kurve des Quotienten lässt sich nicht klar in verschiedene Abschnitte unterteilen. Die Veränderung des Quotienten ist bei weiblichen und männlichen Personen sehr gering. Insgesamt beträgt die Veränderung des Quotienten durchschnittlich nur 0,2 Prozentpunkte<sup>ns</sup> bei den Männern und nur 0,4 Prozentpunkte<sup>ns</sup> bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

### 3.2.7 Cerebrum anterior - LotOpsithion durch Durchmesser Neurocranium

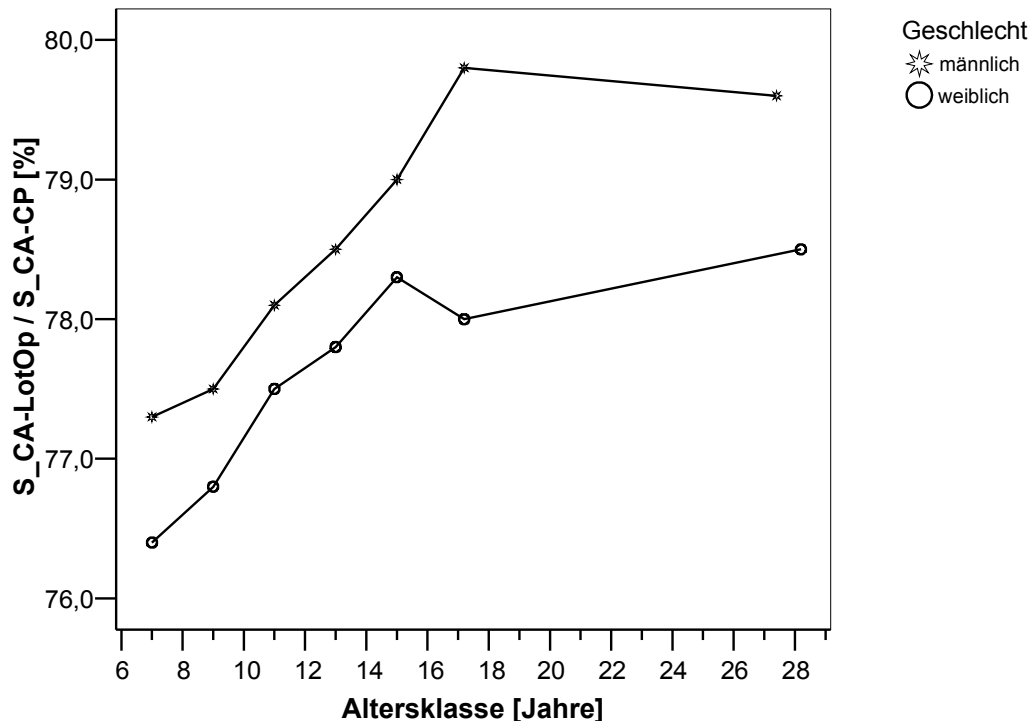


Abbildung 31: Quotient Cerebrum anterior - LotOpisthion durch Durchmesser Neurocranium

Die Kurve des Quotienten lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen nahezu linearen Anstieg des Graphen und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 14,9 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich ist die Veränderung des Quotienten relativ groß. Im zweiten Abschnitt Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 14,9-28,2 für weibliche Personen flacht die Kurve ab, das heißt, der Quotient verändert sich hier nur noch in einem sehr geringen Umfang. Der Graph der weiblichen Probanden knickt bei der Altersklasse 17,2 leicht ein. Das minimale Abfallen des Quotienten (0,2 Prozentpunkte Altersklasse 27,4) bei Männern ist wahrscheinlich auf Messungenauigkeiten zurückzuführen. Insgesamt beträgt die Veränderung des Quotienten durchschnittlich 3,2 Prozentpunkte bei den Männern und 2,7 Prozentpunkte bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

### 3.2.8 Cerebrum anterior - LotPorion durch Durchmesser Neurocranium

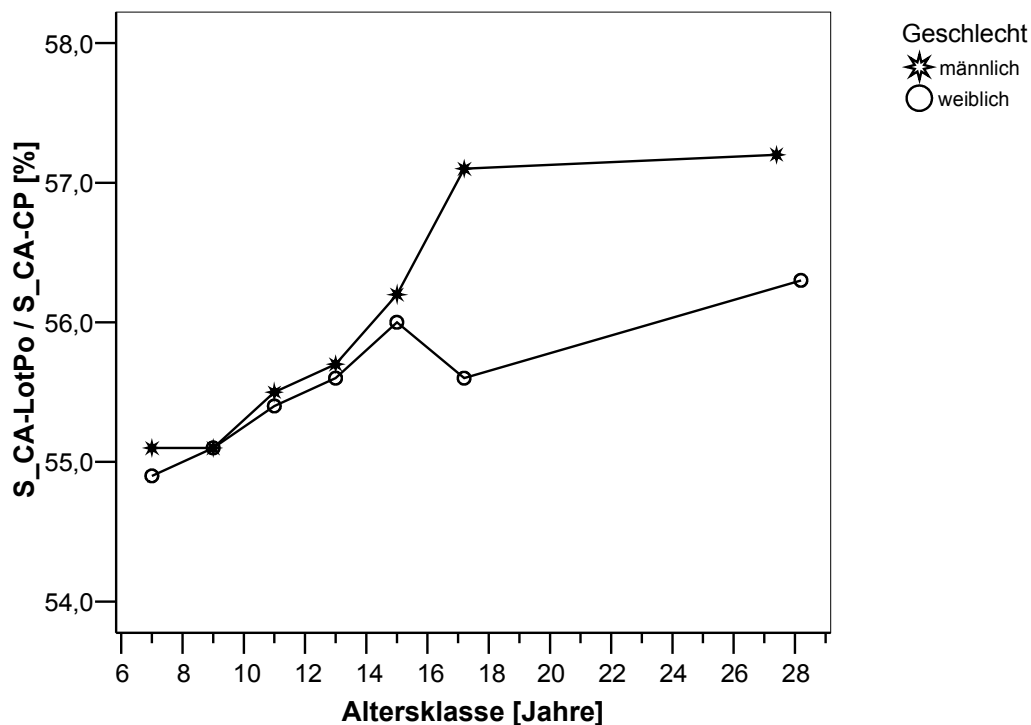


Abbildung 32: Quotient Cerebrum anterior - LotPorion durch Durchmesser Neurocranium

Die Kurve des Quotienten lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt zeigt einen stetigen Anstieg des Graphen und erstreckt sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 14,9 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich ist die Veränderung des Quotienten relativ groß. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 14,9-28,2 für weibliche Personen) flacht die Kurve ab, das heißt, der Quotient verändert sich hier noch in einem sehr geringen Umfang. Der Graph der weiblichen Probanden knickt allerdings bei der Altersklasse 17,2 leicht ein. Insgesamt beträgt die Veränderung des Quotienten durchschnittlich 2,3 Prozentpunkte bei den Männern und 1,4 Prozentpunkte<sup>ns</sup> bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Die Mittelwerte der Quotienten sind bei den Altersklassen 9,1-14,9 bei Männern und Frauen fast identisch.

### 3.3 Schnittwinkel

#### 3.3.1 Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zur Frankfurter Horizontalen

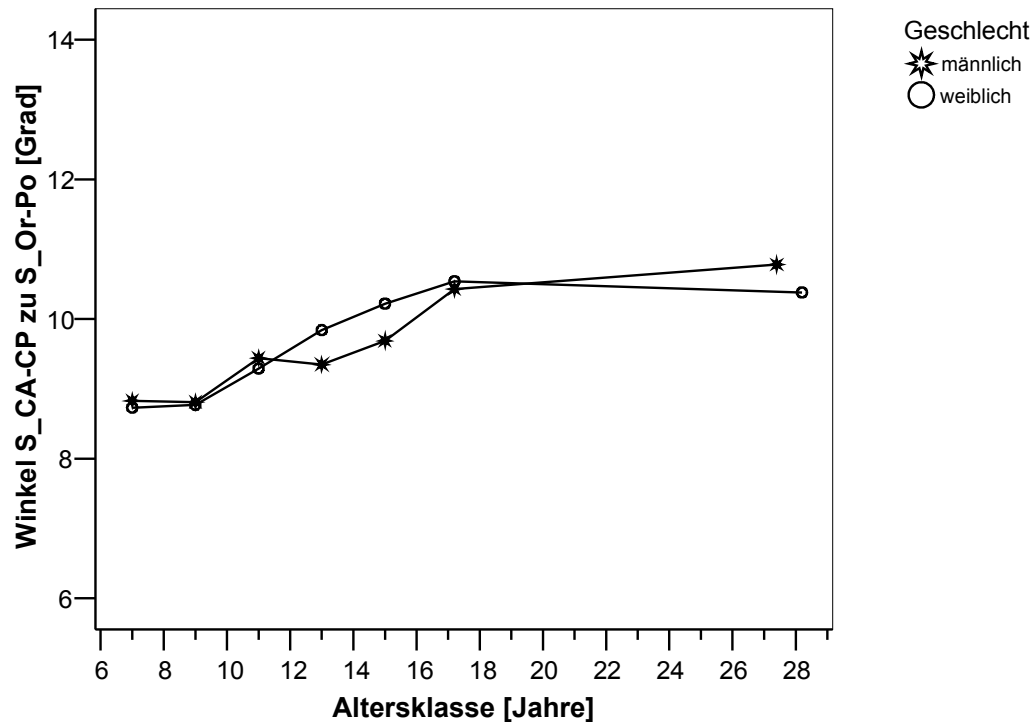


Abbildung 33: Winkel Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Frankfurter Horizontalen

Der Graph des Winkels lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der Winkel vergrößert sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 17,2 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich ist die Veränderung des Winkels am größten. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 17,2-28,2 für weibliche Personen) ist die Vergrößerung des Winkels nur noch minimal. Insgesamt beträgt die Vergrößerung des Winkels durchschnittlich  $2,0^\circ$  bei den Männern und  $1,7^\circ$  bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

### 3.3.2 Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Sella - Nasion

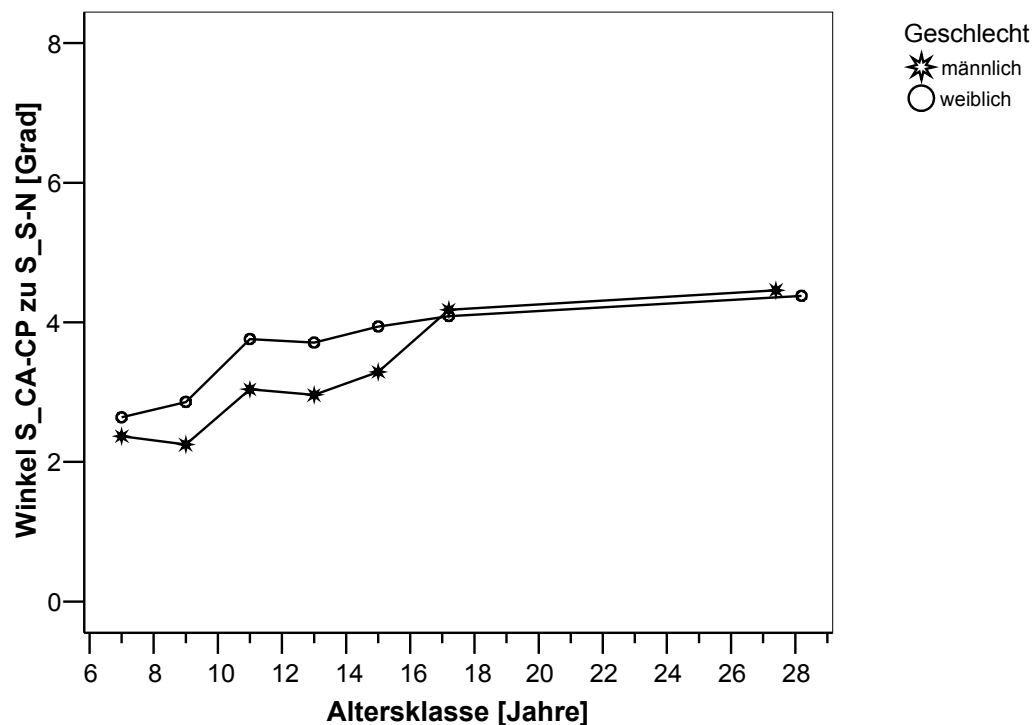


Abbildung 34: Winkel Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Sella - Nasion

Der Graph des Winkels lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der Winkel vergrößert sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 11,0 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich ist die Veränderung des Winkels am größten. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 11,0-28,2 für weibliche Personen) ist die Vergrößerung des Winkels nur noch minimal. Insgesamt beträgt die Vergrößerung des Winkels durchschnittlich  $2,1^\circ$  bei den Männern und  $1,7^\circ$  bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

### 3.3.3 Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Basion - Opisthion

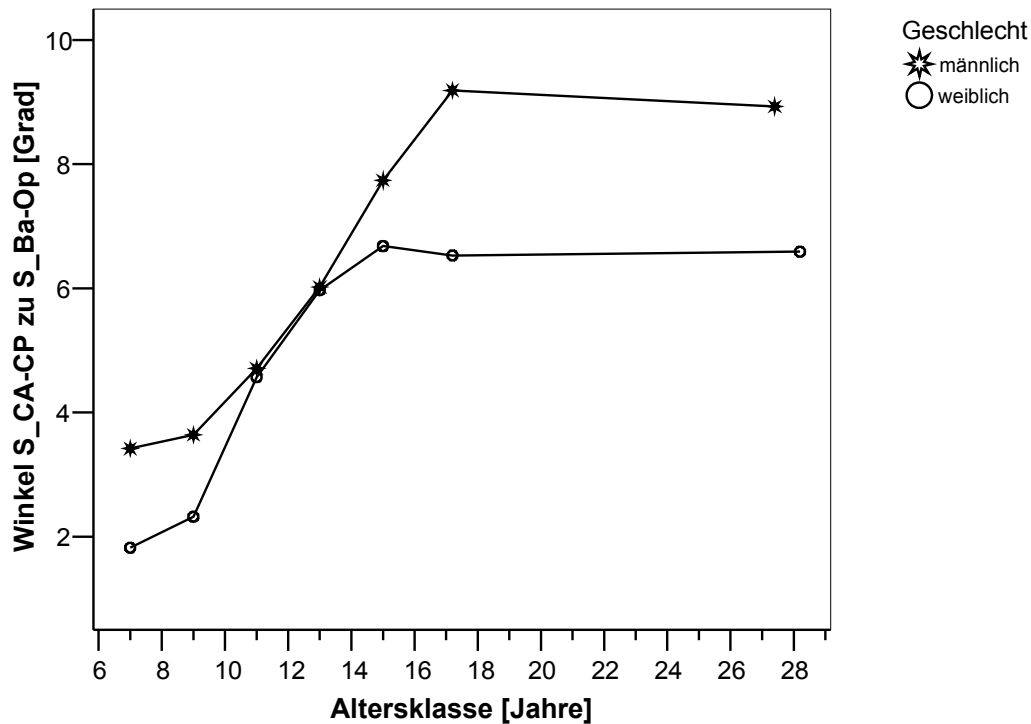


Abbildung 35: Winkel Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Basion - Opisthion

Der Graph des Winkels lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Im ersten Abschnitt vergrößert sich der Winkel von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 14,9 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich ist die Veränderung des Winkels am größten. Der Anstieg der Kurve ist ab der Altersklasse 7,0 bzw. 7,1 annähernd linear. Im dritten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 14,9-28,2 für weibliche Personen) ist die Veränderung sehr schwach. Insgesamt beträgt die Veränderung des Winkels durchschnittlich  $5,5^\circ$  bei den Männern und  $4,8^\circ$  bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

### 3.3.4 Sella - Basion zu Basion - Opisthion

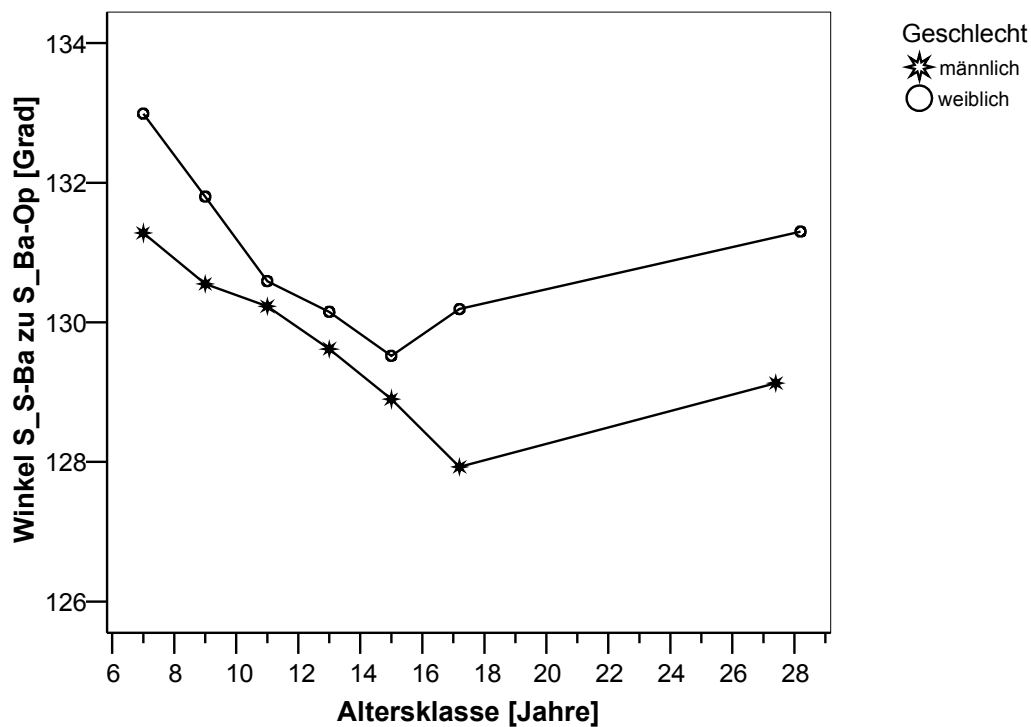


Abbildung 36: Winkel Sella-Basion zu Basion - Opisthion

Der Graph des Winkels lässt sich in 2 Abschnitte unterteilen. Der Winkel verkleinert sich von der Altersklasse 7,0 bis zur Altersklasse 17,2 bei den männlichen Probanden und von 7,1 bis 14,9 bei den weiblichen Probanden. In diesem Bereich ist die Veränderung des Winkels am größten. Im zweiten Abschnitt (Altersklasse 17,2-27,4 für männliche Personen und 14,9-28,2 für weibliche Personen) wird der Winkel wieder etwas größer, die Veränderung ist jedoch relativ schwach und auf Grund der schwächer besetzten letzten Altersklasse nicht voll interpretierbar. Insgesamt beträgt die Veränderung des Winkels durchschnittlich  $2,2^\circ$  bei den Männern und  $1,7^{\text{ons}}$  bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

### 3.4 Ergebnisse des Tests auf Normalverteilung und der einfaktoriellen Varianzanalyse mit anschließendem post hoc Scheffé-Test

Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigt das Vorliegen einer Normalverteilung aller Messstrecken, Quotienten und Winkel für jede Altersklasse. Auch das Lebensalter in den Altersklassen ist außer in der letzten Altersklasse ( $\sigma$ 27,4 und  $\phi$ 28,2) normalverteilt.

Der post hoc Scheffé-Test zeigt bei einigen Strecken, Quotienten und Winkeln keinen signifikanten Unterschied der Mittelwerte zwischen der ersten Altersklasse ( $\sigma$ 7,0 und  $\phi$ 7,1) und der vorletzten Altersklasse (17,2). Diese Strecken, Quotienten und Winkel werden in Tabelle 8 dargestellt.

**Tabelle 8:** Strecken, Quotienten und Winkel ohne signifikanten Unterschied zwischen der ersten Altersklasse ( $\sigma$ 7,0 /  $\phi$ 7,1) und der vorletzten Altersklasse (17,2)

<b>bei den männlichen Probanden</b>	<b>p</b>
Strecke: Cerebrum posterior – LotSella	0,171
Strecke: Cerebrum posterior – LotPorion	0,676
Strecke: Cerebrum superior – LotCerebrum superior	0,990
Strecke: Sella – Cerebrum superior	1,000
(Strecke: Cerebrum superior – Opisthion)	0,421
Quotient: Strecke Cerebrum anterior – LotSella / Durchmesser Neurocranium	1,000
(Strecke: Opisthion – LotOpisthion)	0,311
<b>bei den weiblichen Probanden</b>	
Strecke: Cerebrum anterior – LotSella	0,980
Strecke: Cerebrum posterior – LotArticulare	0,632
Strecke: Cerebrum posterior – LotBasion	0,655
Strecke: Cerebrum posterior – LotOpisthion	0,544
Strecke: Cerebrum posterior – LotPorion	0,999
Strecke: Sella – Cerebrum superior	0,986
Strecke: Cerebrum superior – LotCerebrum superior	1,000
(Strecke: Cerebrum superior – Opisthion)	0,090
(Strecke: Opisthion – LotOpisthion)	0,965
Quotient: Strecke Cerebrum anterior – LotA-Punkt / Durchmesser Neurocranium	0,185
Quotient: Strecke Cerebrum anterior – LotSella / Durchmesser Neurocranium	0,349
Quotient: Strecke Cerebrum anterior – LotPorion / Durchmesser Neurocranium	0,235
Winkel: Sella - Basion zu Basion – Opisthion (großer Schnittwinkel)	0,115



### **3.5 Korrelationen**

Korrelationskoeffizienten (nach Pearson) größer 0,7 und -0,7 werden als stark bezeichnet, Koeffizienten zwischen 0,3 und -0,3 werden als schwach bezeichnet. Korrelationen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit größer 0,05 werden nicht betrachtet.

#### **3.5.1 Korrelationen von Streckenlängen und Alter**

Die Bestimmung der Korrelationskoeffizienten zeigt, dass zwischen dem Alter und den Streckenlängen keine starke Korrelation besteht.

Es stellt sich kein großer Unterschied zwischen den berechneten Korrelationen bei Männern und Frauen dar.

Die starken Korrelationen bestehen hauptsächlich bei Strecken zwischen CA oder CP und benachbart liegenden Punkten wie zum Beispiel LotBasion, LotOpisthion, LotPorion und LotArticulare.

Tabelle9: Korrelationen der Messstrecken Männer

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Alter [Jahren]	A	-																
S_CA-CP [mm]	B	<b>0,20*</b>	-															
S_CA-LotN [mm]	C	-0,44*	<b>-0,08*</b>	-														
S_CA-LotOr [mm]	D	<b>-0,24*</b>	<b>0,07</b>	0,67*	-													
S_CA-LotA [mm]	E	<b>-0,21*</b>	<b>0,06</b>	0,66*	<b>0,84*</b>	-												
S_CA-LotAr [mm]	F	0,55	0,43*	<b>0,05</b>	0,37*	0,35*	-											
S_CP-LotAr [mm]	G	<b>-0,17*</b>	<b>0,77*</b>	<b>-0,13*</b>	<b>-0,19*</b>	<b>-0,20*</b>	<b>-0,25*</b>	-										
S_CA-LotBa [mm]	H	0,52*	0,45*	<b>0,00</b>	0,31*	<b>0,29*</b>	<b>0,92*</b>	<b>-0,18*</b>	-									
S_CP-LotBa [mm]	I	<b>-0,17*</b>	<b>0,75*</b>	<b>-0,09*</b>	<b>-0,16*</b>	<b>-0,15*</b>	<b>-0,22*</b>	<b>0,96*</b>	<b>-0,26*</b>	-								
S_CA-LotS [mm]	J	<b>0,16*</b>	0,47*	<b>0,28*</b>	0,54*	0,45*	0,67*	<b>0,02</b>	0,68*	-0,01	-							
S_CP-LotS [mm]	K	<b>0,15*</b>	<b>0,92*</b>	<b>-0,22*</b>	<b>-0,17*</b>	<b>-0,13*</b>	<b>0,18*</b>	<b>0,86*</b>	<b>0,20*</b>	<b>0,84*</b>	<b>0,07*</b>	-						
S_CA-LotOp [mm]	L	0,42*	0,53*	<b>-0,07</b>	<b>0,25*</b>	<b>0,23*</b>	<b>0,80*</b>	<b>0,00</b>	<b>0,88*</b>	<b>-0,08*</b>	0,64*	0,31*	-					
S_CP-LotOp [mm]	M	<b>-0,16*</b>	0,64*	<b>-0,03</b>	<b>-0,15*</b>	<b>-0,14*</b>	<b>-0,24*</b>	<b>0,86*</b>	<b>-0,30*</b>	<b>0,91*</b>	<b>-0,05</b>	<b>0,75*</b>	-0,31*	-				
S_CA-LotPo [mm]	N	0,43*	0,49*	<b>0,10*</b>	0,38*	0,36*	<b>0,92*</b>	<b>-0,14*</b>	<b>0,89*</b>	<b>-0,14*</b>	<b>0,70*</b>	<b>0,23*</b>	<b>0,80*</b>	<b>-0,18*</b>	-			
S_CP-LotPo [mm]	O	<b>-0,08*</b>	<b>0,79*</b>	<b>-0,16*</b>	<b>-0,19*</b>	<b>-0,18*</b>	<b>-0,15*</b>	<b>0,96*</b>	<b>-0,11*</b>	<b>0,94*</b>	<b>0,04</b>	<b>0,88*</b>	<b>0,05</b>	<b>0,85*</b>	<b>-0,15*</b>	-		
S_CS-LotCS [mm]	P	<b>0,04</b>	<b>0,18*</b>	<b>0,11*</b>	<b>0,13*</b>	<b>0,22*</b>	<b>0,22*</b>	<b>0,02*</b>	<b>0,16*</b>	<b>0,06</b>	<b>0,27*</b>	<b>0,08*</b>	<b>0,17*</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,21*</b>	-	
S_S-CS [mm]	Q	<b>0,07</b>	0,31*	<b>-0,03</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,04</b>	<b>0,14*</b>	<b>0,23*</b>	<b>0,16*</b>	<b>0,21*</b>	<b>0,13*</b>	<b>0,29*</b>	<b>0,22*</b>	<b>0,15*</b>	<b>0,22*</b>	<b>0,18*</b>	0,61*	-

\*Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 0,05

Anzahl Gültige (735-711)

**kursiv fett** Korrelation zwischen 0,3 und -0,3

**fett und grau hinterlegt** Korrelation größer 0,7 oder kleiner -0,7

Tabelle10: Korrelationen der Messstrecken Frauen

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Alter [Jahren]	A																	
S_CA-CP [mm]	B	<b>0,15*</b>	-															
S_CA-LotN [mm]	C	-0,43*	<b>0,05</b>	-														
S_CA-LotOr [mm]	D	<b>-0,26*</b>	<b>0,28*</b>	<b>0,77*</b>	-													
S_CA-LotA [mm]	E	<b>-0,14*</b>	<b>0,13*</b>	0,69*	<b>0,79*</b>	-												
S_CA-LotAr [mm]	F	0,45*	0,62*	<b>0,08*</b>	0,39*	0,37*	-											
S_CP-LotAr [mm]	G	<b>-0,16*</b>	<b>0,79*</b>	<b>0,00</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,11*</b>	<b>0,02</b>	-										
S_CA-LotBa [mm]	H	0,40*	0,67*	<b>0,11*</b>	0,37*	0,32*	<b>0,85*</b>	0,19*	-									
S_CP-LotBa [mm]	I	<b>-0,15*</b>	<b>0,76*</b>	<b>-0,02</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,10*</b>	<b>0,09*</b>	<b>0,90*</b>	<b>0,03</b>	-								
S_CA-LotS [mm]	J	<b>0,06</b>	0,58*	0,47*	0,65*	0,47*	0,64*	<b>0,24*</b>	<b>0,72*</b>	<b>0,15*</b>	-							
S_CP-LotS [mm]	K	<b>0,15*</b>	<b>0,88*</b>	<b>-0,21*</b>	<b>-0,04</b>	<b>-0,11*</b>	0,38*	<b>0,82*</b>	0,40*	<b>0,84*</b>	<b>0,13*</b>	-						
S_CA-LotOp [mm]	L	0,34*	0,63*	<b>0,09*</b>	0,34*	<b>0,27*</b>	<b>0,82*</b>	<b>0,17*</b>	<b>0,89*</b>	<b>0,08*</b>	0,69*	0,37*	-					
S_CP-LotOp [mm]	M	<b>-0,13*</b>	0,69*	<b>-0,02</b>	0,04	<b>-0,08*</b>	0,02	<b>0,85*</b>	<b>0,02</b>	<b>0,90*</b>	<b>0,10*</b>	<b>0,78*</b>	<b>-0,12*</b>	-				
S_CA-LotPo [mm]	N	0,31*	0,64*	<b>0,16*</b>	0,43*	0,36*	<b>0,90*</b>	<b>0,11*</b>	<b>0,85*</b>	<b>0,12*</b>	0,68*	0,38*	<b>0,81*</b>	<b>0,06</b>	-			
S_CP-LotPo [mm]	O	<b>-0,03</b>	<b>0,84*</b>	<b>-0,05</b>	0,05	<b>-0,09*</b>	0,16*	<b>0,94*</b>	<b>0,26*</b>	<b>0,90*</b>	<b>0,26*</b>	<b>0,87*</b>	<b>0,24*</b>	<b>0,85*</b>	<b>0,11*</b>	-		
S_CS-LotCS [mm]	P	<b>0,13*</b>	0,38*	<b>0,16*</b>	0,33*	0,32*	0,44*	<b>0,15*</b>	0,39*	<b>0,17*</b>	0,32*	0,27*	0,36*	<b>0,15*</b>	<b>0,18*</b>	0,42*	-	
S_S-CS [mm]	Q	<b>0,07</b>	0,47*	<b>0,17*</b>	0,33*	<b>0,20*</b>	0,43*	<b>0,26*</b>	0,47*	<b>0,22*</b>	0,37*	0,35*	0,42*	<b>0,20*</b>	<b>0,26*</b>	0,47*	0,65*	-

\*Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 0,05

Anzahl Gültige (735-711)

kursiv fett Korrelation zwischen 0,3 und -0,3

fett und grau hinterlegt Korrelation größer 0,7 oder kleiner -0,7

### 3.5.2 Korrelationen von Winkeln und Alter

Die Bestimmung der Korrelationskoeffizienten zeigt, dass zwischen dem Alter und den gemessenen Winkeln keine starke Korrelation besteht.

Bei den männlichen Personen besteht eine starke negative Korrelation zwischen den Winkeln S\_CA-CP zu S\_Or-Po und S\_S-Ba zu S\_Ba-Op (-0,71).

Bei den weiblichen Personen besteht eine starke negative Korrelation zwischen den Winkeln S\_CA-CP zu S\_Or-Po und S\_S-Ba zu S\_Ba-Op (-0,78).

Die Korrelationen werden in Tabelle 11 und 12 dargestellt.

**Tabelle 11:** Korrelationen Winkel Männlich

	Alter [Jahren]	S_CA-CP zu S_S-N	S_CA-CP zu S_Or-Po	S_CA-CP zu S_Ba-Op	S_S-Ba zu S_Ba-Op
Alter [Jahren]	-				
S_CA-CP zu S_S-N	<b>0,19*</b>	-			
S_CA-CP zu S_Or-Po	<b>0,19*</b>	0,66*	-		
S_CA-CP zu S_Ba-Op	0,33*	<b>0,21*</b>	<b>0,28*</b>	-	
S_S-Ba zu S_Ba-Op	<b>-0,11*</b>	<b>-0,05</b>	<b>0,10*</b>	<b>-0,71*</b>	-

\*Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 0,05  
Anzahl Gültige (803-781)

**Tabelle 12:** Korrelationen Winkel Weiblich

	Alter [Jahren]	S_CA-CP zu S_S-N	S_CA-CP zu S_Or-Po	S_CA-CP zu S_Ba-Op	S_S-Ba zu S_Ba-Op
Alter [Jahren]	-				
S_CA-CP zu S_S-N	<b>0,17*</b>	-			
S_CA-CP zu S_Or-Po	<b>0,21*</b>	0,59*	-		
S_CA-CP zu S_Ba-Op	<b>0,27*</b>	<b>0,15*</b>	<b>0,11*</b>	-	
S_S-Ba zu S_Ba-Op	<b>-0,07*</b>	<b>-0,08*</b>	<b>0,16*</b>	<b>-0,78*</b>	-

\*Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 0,05  
Anzahl Gültige (735-728)

**kursiv fett** Korrelation zwischen 0,3 und -0,3  
**fett und grau hinterlegt** Korrelation größer 0,7 oder kleiner -0,7

## 4. Diskussion

### 4.1 Die sagittale und vertikale Entwicklung des Neurocraniums

Das sagittale Wachstum des Hirnschädels (S\_CA-CP [Abb. 8]) zeigt in der Untersuchung bei Männern und Frauen einen unterschiedlichen Verlauf. Bei den Frauen ist das sagittale Wachstum mit +3,2 mm insgesamt geringer ausgeprägt und endet früher als bei den männlichen Probanden (+6,2 mm). Obwohl ab dem Alter von ca. zehn Jahren das Hirnvolumen praktisch unverändert bleibt (Björk 1955), findet ab diesem Zeitpunkt weiterhin sagittales Schädelwachstum, wenn auch im geringen Umfang, statt. Auch wenn das Hirnvolumen ab diesem Zeitpunkt als konstant anzusehen ist, vergrößert sich das „Reserve Volumen“, also der Raum zwischen Gehirn und Schädelknochen, nach einer aktuellen Untersuchung von Maxeiner und Behnke (2008) mit zunehmendem Alter. Dies spricht auch für ein weiteres Wachstum des Hirnschädels nach dem 12. Lebensjahr. Das frühere Ende des Wachstums bei Frauen gegenüber Männern ist mit einem früheren Eintritt in die Pubertät und somit einem früheren und geringer ausgeprägten Wachstumsspur zu erklären (Tanner 1989). Auch das Einknicken des Graphen in der Altersklasse 17,2 bei Männern und 14,9 bei Frauen lässt bei der Betrachtung der Fehlerbalken [Anhang 7.2] nicht zwingend auf ein ähnliches Wachstumsverhalten der Grundgesamtheit schließen. Abbildung 37 zeigt das Wachstum der Messstrecken über den gesamten Altersbereich bei Männer und Frauen.

Thilander und Ingervall (1973) stellten (basierend auf Ergebnissen einer Studie von Yakovlev 1962) fest, dass mit dem Alter von 2 Jahren schon 90% des Schädeldurchmessers erreicht werden. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass im Alter von 6 Jahren schon die wesentlichen Größenveränderungen des Hirnschädels abgeschlossen sind. Eine ähnliche Beobachtung machte Gerver 1988 in einer Wachstumsstudie, in der unter anderem der größte Umfang des Kopfes bei Jungen im Alter von einem Monat bis 16 Jahren untersucht wurde. Die größte Veränderung des Umfangs vollzieht sich in den ersten beiden Lebensjahren, wobei sich im Alter von 6 bis 16 Jahren der Umfang nach Gerver um ca. 3,5 cm vergrößert. Dies bedeutet also eine ungefähre Zunahme des

Schädeldurchmessers von ca. 10 mm, wenn man von einer recht runden Ellipse ausgeht. Auf die sagittale Entwicklung des Hirnschädels wird in Kapitel 4.5 auch noch einmal eingegangen.

Das vertikale Wachstum des anterioren Hirnschädels (S\_S-CS [Abb. 23] und S\_CS-LotCS [Abb. 24]) ist bei Männern mit +1,7 mm<sup>ns</sup> und Frauen mit +0,9 mm<sup>ns</sup> in dieser Untersuchung gering ausgeprägt. Berücksichtigt man zusätzlich noch, dass die letzte Altersklasse auf Grund der geringeren Fallzahlen und nicht normalverteilter Altersverteilung nicht voll aussagekräftig ist, zeigt sich, dass nur noch minimales vertikales Wachstum des Hirnschädels ab dem Alter von 6 Jahren stattfindet (nicht signifikant s. Tab. 8). Gleiches bestätigt eine kephalometrische Untersuchung von Axelsson (2003). Er bemerkte, dass keine oder nur geringe Änderungen der vertikalen Dimension des Neurocraniums im Alter von 6 bis 21 Jahren ablaufen.

In dieser Untersuchung zeigt sich jedoch auch, dass Basion sich gegenüber seinem Lotfußpunkt relativ stark absenkt (S\_Ba-LotBa [Tabelle 32 Anhang]). Bolk (1915, S. 659-661) beschreibt eine trichterförmige Entwicklung der hinteren Schädelgrube während der postfötalen Wachstumsentwicklung. Er erklärt diese Entwicklung mit besseren statischen Verhältnissen beim aufrechten Gang. Der Clivus stelle sich steiler und bilde so eine Verlängerung der Wirbelsäule, es komme ein Pfeilersystem zu Stande, welches das Gewicht des Kopfes besser trage. Betrachtet man die Strecken Cerebrum superior - Basion und Cerebrum superior - Opisthion [Tabelle 30 und 31 Anhang], zeigt sich eine Verlängerung von ca. 5 mm (S\_CS-Ba) und ca. 4 mm (S\_CS-Op). Die Messungen dieser Untersuchung bestätigen also ein Auseinanderrücken von Opisthion – LotOpisthion und Basion – LotBasion (siehe auch Kapitel 4.6).

Es lässt sich festhalten, dass der Bereich der vorderen Schädelbasis eine hohe vertikale Stabilität zwischen dem 6. Lebensjahr und dem Erwachsenenalter aufweist, im Bereich des Foramen magnum ist hingegen keine so große vertikale Dimensionsstabilität im Untersuchungszeitraum gegeben.

---

<sup>ns</sup>=nicht signifikante Differenz zwischen den Mittelwerte der ersten und vorletzten Altersklasse

In Abbildung 37 wird das Wachstum des Neurocraniums in einer Übersicht dargestellt.

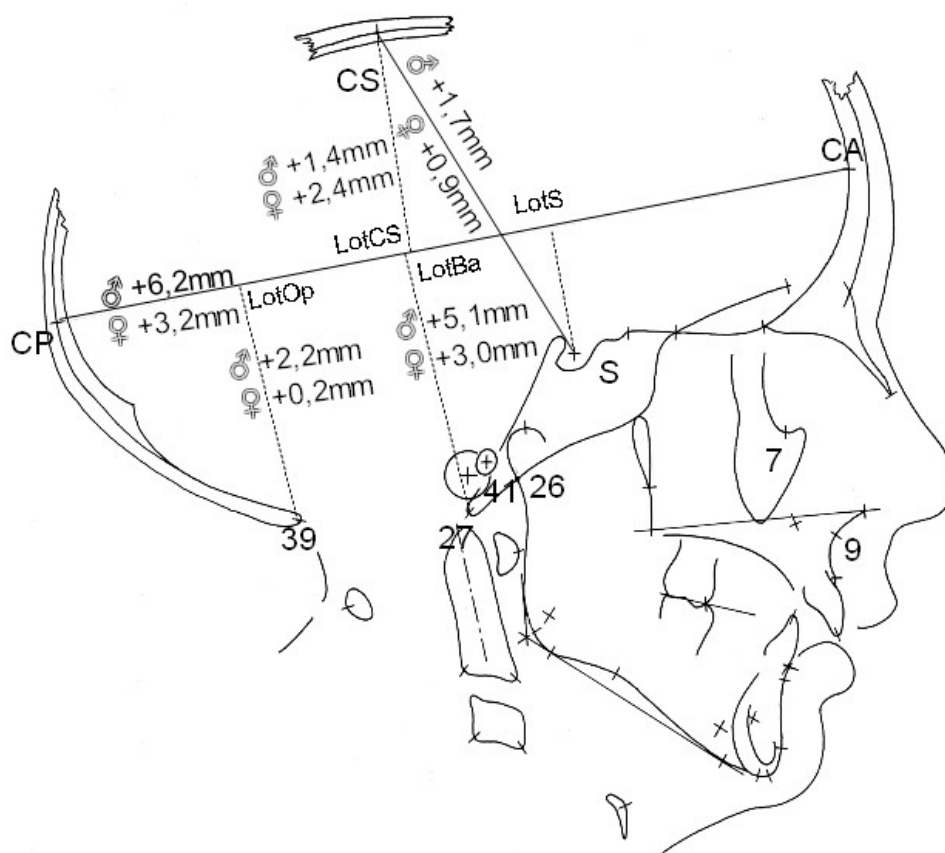


Abbildung 37: Wachstum des Neurocraniums

#### 4.2 Sagittale Entwicklung der anterior gelegenen Punkte Nasion, Orbitale, A-Punkt und ihrer Lotfußpunkte

Die Lotfußpunkte von Orbitale [Abb. 10] und A-Punkt [Abb. 11] auf dem größten Durchmesser des Neurocraniums verhalten sich in ihrer Wachstumsentwicklung nahezu gleich. Die Strecken zwischen ihnen und Cerebrum anterior nehmen leicht ab. Ab der Altersklasse von 14,9 Jahren findet hier kaum noch eine Veränderung des sagittalen Abstands der Punkte statt.

Bei der Strecke LotNasion-Cerebrum anterior endet die Verkürzung der Strecke später und ist insgesamt vom Betrag größer [Abb. 9] als bei den zuvor betrachteten Strecken (S\_CA-LotA und S\_CA-LotOr). Cerebrum anterior liegt in der weit überwiegenden Zahl der Fälle vor LotNasion. Als mögliche Ursache für die Verkürzung der Strecken kommt eine Bewegung nach anterior der benannten Lotfußpunkte sowie eine Bewegung nach posterior von Cerebrum anterior in Betracht. Außerdem ist es durchaus möglich, dass sich Cerebrum anterior genau wie die Lotfußpunkte (zum Beispiel bezogen auf Cerebrum posterior) nach anterior bewegt, nur langsamer und vom Betrag etwas weniger. In Abbildung 38 sind die anterioren Punkte und ihre Lotfußpunkte dargestellt.

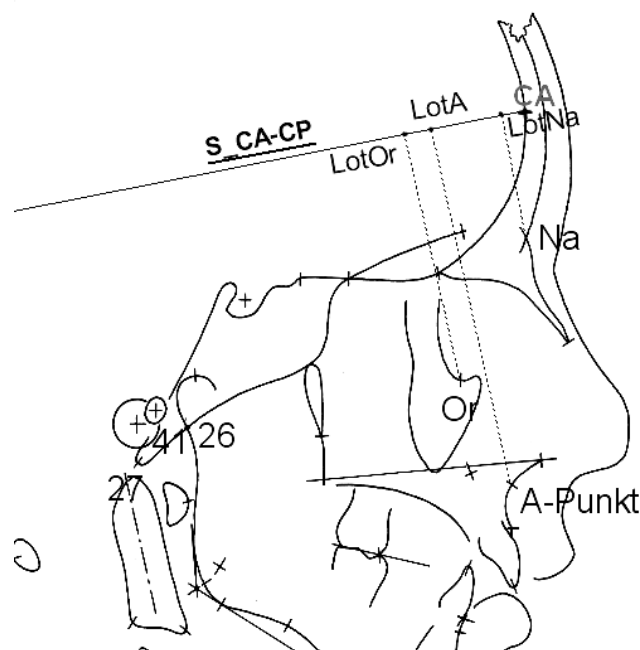


Abbildung 38: Übersicht vordere Schädelbasis



Björk (1955) stellt fest, dass die mediane Kontur der vorderen Schädelgrube im Altersbereich von 12 bis 20 Jahren fast unverändert bleibt. Dies lässt auf eine stabile Position von Cerebrum anterior zur vorderen Schädelbasis schließen [Abb. 14]. Die Strecke Cerebrum anterior – LotSella vergrößert sich bei Männern um 2,2 mm und bei Frauen um 0,6 mm<sup>ns</sup> über den gesamten betrachteten Altersbereich.

Die von Ford (1958) gemessene Strecke „Foramen caecum-Pituitary Point (tuberculum sellae)“ wächst laut seinen Angaben ab dem Durchbruch des ersten bleibenden Molars nicht mehr. In Gegensatz dazu wächst die Strecke Foramen caecum - Nasion, die die Dicke des Os frontale repräsentiert (Ford 1958). Björk (1955) beschreibt appositionelle Wachstumsprozesse in der Glabella Region, die die Streckenveränderungen von Nasion zu Cerebrum anterior erklären. Des Weiteren findet eine Vergrößerung im Bereich des Sinus frontalis statt (Ford 1958), die für eine Verkürzung der Strecke LotNasion - Cerebrum anterior verantwortlich ist. Nanda (1976) beschreibt eine Verlängerung der Strecke Nasion bis zum posterioren Punkt der Stirnhöhle von 7 mm bei Männern und 4,5 mm bei Frauen im Alter von 6 bis 25 Jahren. Die Veränderung der Streckenlänge Mittelpunkt des Keilbeins zum posterioren Punkt des Sinus frontalis ist mit 1 mm (Nanda 1976) in der gleichen Personengruppe eher gering. Dies lässt auf größere Wachstumsvorgänge im Nasionbereich Richtung anterior schließen, die sich auch in dieser Untersuchung zeigen. Szilvássy (1981) stellt fest, dass die Stirnhöhlenentwicklung mit 18 Jahren als abgeschlossen angesehen werden kann. Erst ab ca. 15 Jahren sind die Stirnhöhlen der Jungen größer als die der Mädchen, zuvor liegen sie in der Entwicklung etwas zurück (Szilvássy 1981).

Die in dieser Untersuchung ermittelte Verkürzung der Strecke LotNasion - Cerebrum anterior um 3,6 mm bei den Männern und 5,1 mm bei den Frauen ist also mit einer Vergrößerung der Stirnhöhle und Knochenapposition im Bereich der Glabella zu erklären, denn der Punkt Nasion bewegt sich auf Grund der Verdickung des Os frontalis nach anterior.

Enlow (1982) unterscheidet in seinem Buch „Handbook of Facial Growth“ zwischen primärem und sekundärem Displacement. Primäres Displacement resultiert aus der Größenänderung des Knochens selbst und somit findet eine Lageveränderung gegenüber den anderen Knochen statt. Sekundäres Displacement wird die komplette Verlagerung eines Knochens durch Größenänderung eines benachbarten Knochens genannt. Enlow beschreibt eine anteriore Bewegung der gesamten Oberkieferregion und der vorderen Schädelgrube auf Grund der Expansion der mittleren Schädelgrube bis zum Alter von 7 Jahren (1982).

Die Maxilla bewegt sich nach ventral, sie ist nicht knöchern sondern durch Suturen mit der vorderen Schädelbasis verbunden. Es findet Knochenwachstum am dorsalen Rand der Maxilla statt. Enlow (1982) sieht nicht das Wegdrücken des Knochens durch Deposition als Ursache für das Displacement, sondern der Knochen wird von den „expansiven Kräften“ aller umgebenden Weichgewebe nach anterior bewegt. Parallel bildet sich neuer Knochen zwischen Maxilla und Processus pterygoideus. Dieser Prozess wird als primäres Displacement der Maxilla bezeichnet. Die Verkürzung der Strecke Cerebrum anterior - LotA-Punkt sowie der Strecke Cerebrum anterior - LotOrbitale beruht zum Teil auf dem primären Displacement der Maxilla (Enlow 1982).

Sekundäres Displacement wirkt sich auf die hier betrachteten Strecken CA-LotA und CA-LotOr nicht aus. Ford (1958) erwartet einen starken Zusammenhang zwischen der Entwicklung der supraorbitalen Region und des interorbitalen Septums zur Entwicklung der Kiefer und Kaumuskulatur. Die Strecken CA-LotA und CA-LotOr korrelieren in dieser Untersuchung stark (0,8).

Nanda (1976) betrachtet die Maxilla nicht unabhängig von den umgebenden Strukturen, er spricht von der nasomaxillären Region, die Oberkieferbogen, Gaumenfortsatz, Jochbeinfortsatz, Kieferhöhlen, Orbitaboden und Nasenregion einschließt.

Das sagittale Wachstum der Maxilla wurde von Tschechne (2005) vermessen. Es zeigt sich eine sagittale Verlängerung der Strecke vom Hinterrand der

Maxilla zum A-Punkt im Alter von 2 bis 19 Jahren um durchschnittlich 10,9 mm. Bis zum 8. Lebensjahr findet ca. 63% dieses Wachstums statt. Vom 8. bis zum 19. Lebensjahr wächst die Strecke um durchschnittlich 3,9 mm. Die Position der Maxilla ist abhängig vom Wachstum der spheno-occipitalen Synchondrose und spheno-ethmoidalen Suture (Nanda 1976). Die Synchondrose verknöchert etwa mit 13-16 Jahren bei Männern und 11-14 Jahren bei Frauen (Powell and Brodie 1963). Ford (1958) beschreibt hingegen anhaltendes Wachstum im Bereich der Synchondrose bis zum Alter von 20 bis 25 Jahren. Das Wachstum in der spheno-occipitalen Synchondrose führt zu einer horizontalen Verschiebung der Maxilla und wird durch ein vertikales Wachstum der Maxilla begleitet, aber durch das Wachstum in der spheno-occipitalen Synchondrose wächst die Maxilla in der Sagittalen jedoch selbst nicht, sondern der Pharyngealraum (Enlow 1968, Dibbets und Müller 2007). Das Wachstum im Bereich der spheno-ethmoidalen Suture endet mit ca. 7 Jahren (Melsen 1974) und ist somit in dieser Untersuchung nicht von Bedeutung.

Eine weitere Erklärung für die Verkürzung der Strecke Cerebrum anterior - LotA-Punkt ist die nach ventral und kaudal gerichtete Drift der Oberkiefer Frontzähne (Björk 1964, Eßer 2007).

Die berechneten Quotienten (Relationen) [Abb. 25, 26, 27] bestätigen die Entwicklungen, die die Strecken aufzeigen [Abb. 9, 10, 11].

Abschließend lässt sich festhalten, dass die gemessenen Streckenverkürzungen von LotNasion zu Cerebrum anterior durch Vergrößerung des Sinus frontalis, von LotOrbitale zu Cerebrum anterior durch primäres Displacement der Maxilla und von LotA-Punkt zu Cerebrum anterior sowohl durch primäres Displacement der Maxilla als auch durch nach anterior-kaudal gerichteten Drift der Oberkiefer Schneidezähne zu erklären sind.

### **4.3 Sagittale Entwicklung des mittig gelegenen Punktes Sella und seines Lotfußpunktes**

Die Streckenlänge von Cerebrum anterior - LotSella ist zwischen dem 6. Lebensjahr und dem Erwachsenenalter in dieser Untersuchung annähernd konstant [Abb. 14]. Sie verlängert sich nur um 2,2 mm bei den Männern und 0,6 mm<sup>ns</sup> bei den Frauen. Laut Enlow (1982) wird Sella üblicherweise als Registrierpunkt für Überlagerungen von Fernröntgenseitenaufnahmen benutzt. Schon Broadbent (1931) überlagert auf die Linie Nasion-Sella. Er hält diese Strukturen für sehr stabil zueinander. Die Strecke Cerebrum anterior - LotNasion zeigt gegenüber der stabilen Position von LotSella zum vorderen Schädel in dieser Untersuchung gewisse Veränderungen [Abb. 9]. Auch Nanda (1976) bezeichnet die Position von Sella zur vorderen Schädelgrube ab dem Alter von 12 Jahren als stabil.

Die Strecke Cerebrum posterior - LotSella [Abb. 19] verlängert sich durchschnittlich um 4,0 mm<sup>ns</sup> bei den männlichen und um 2,7 mm bei den weiblichen Probanden. Für diese Streckenveränderungen scheinen größere Wachstumsprozesse im Bereich der spheno-occipitalen Synchondrose (SOS) verantwortlich zu sein. Von Greiner (2000) veröffentlichte Messungen aus Groningen zeigen ein durchschnittliches Wachstum der Strecke Sellaboden - Basion im Alter von ca. 6-30 Jahren um 5,3 mm. In der hier vorliegenden Messung zeigt sich ein sagittales Wachstum der Strecke LotSella - LotBasion von 7,1 mm bei den Frauen und 5,9 mm bei den Männern. Einen wesentlichen Anteil am Wachstum der Schädelbasis im Alter von 6 Jahren bis zum Ende der Pubertät hat sehr wahrscheinlich die spheno-occipitale Synchondrose. Die Synchondrose schließt sich in etwa mit 13-16 Jahren bei Männern und 11-14 Jahren bei Frauen (Powell and Brodie 1963). Broseghini (2004) ermittelte eine Streckenlängenzunahme im Alter von 6-20 Jahren von ca. 8 mm für die Strecke Basion-Sella, dies lässt bei einem angenommenen Clivuswinkel von 45° zu S\_CA-CP auf einen sagittalen Zuwachs von ca. 5,7 mm zwischen den Punkten schließen. Greiners Untersuchung belegt aber auch, dass vom 2. bis 9. Lebensjahr schon 72% (7,8 mm) des Wachstums abgelaufen sind.

Es zeigt sich eine sehr stabile sagittale Lage von Sella zur vorderen, aber nicht zur hinteren Schädelbasis. Sella verschiebt sich relativ zum größten Durchmesser des Neurocraniums (S\_CA-CP) nur minimal [Abb. 30].

#### 4.4 Sagittale Entwicklung der posterior gelegenen Punkte Basion, Opisthion, Articulare, Porion und ihrer Lotfußpunkte

Die berechneten Strecken der benannten posterioren Punkte zu Cerebrum anterior und Cerebrum posterior korrelieren stark [Tabelle 9 und 10]. Ihre sagittale Entwicklung bezogen auf Cerebrum posterior wird in Abbildung 39 dargestellt.

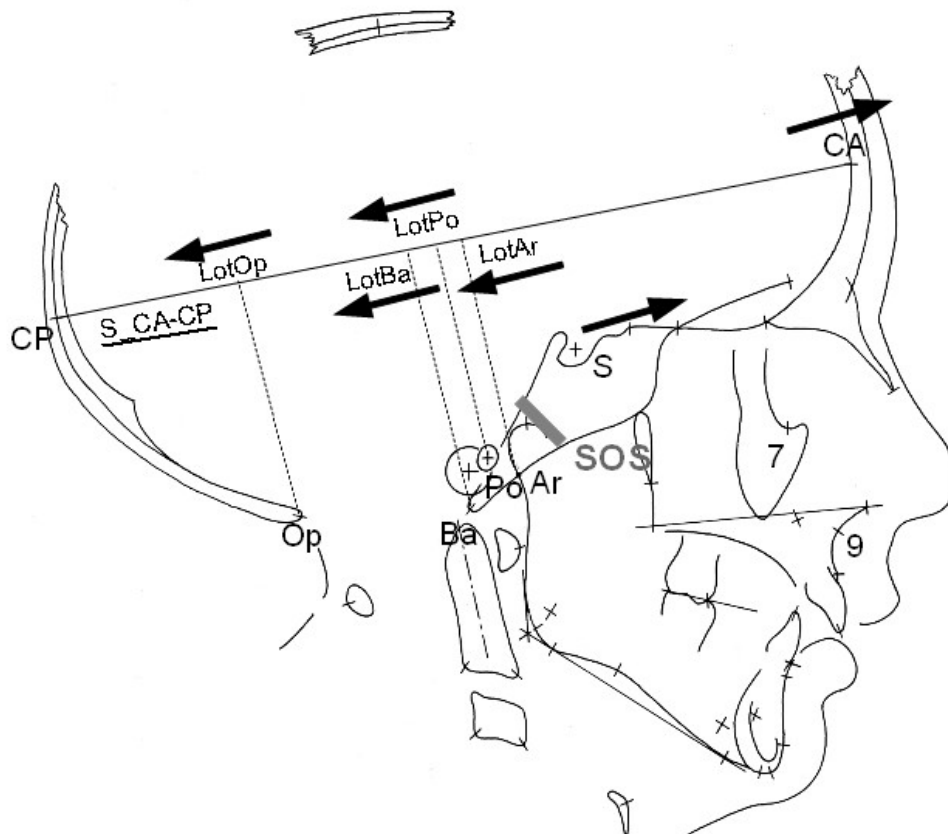


Abbildung 39: Wachstum der Messpunkte (von CP aus betrachtet)

#### 4.4.1 Die sagittale Lage des Foramen magnums

Die sagittale Entwicklung der posterior gelegenen Punkte Basion und Opisthion zu Cerebrum anterior ist nahezu gleich [Abb. 13 und 15]. Schon 1857 stellt Virchow fest, dass sich die Größe des Foramen magnums ab dem dritten Lebensjahr nicht mehr nennenswert verändert. Zuckerman (1955) nennt den Durchbruch des ersten bleibenden Molaren als Zeitpunkt, an dem das Wachstum der Strecke Basion - Opisthion endet. Eine Untersuchung der Größe des Foramen magnums bei Menschen mit Achondroplasie (Hecht 1989) zeigt die Bedeutung des Knorpels und der enchondralen Ossifikation bei der Entwicklung des Foramen magnums. Das Foramen mangnum ist bei Achondroplasie transversal und sagittal kleiner als bei nicht an Achondroplasie erkrankten Menschen.

Die Strecke Cerebrum anterior - LotBasion bzw. LotOpisthion verlängert sich in der Untersuchung über den gesamten Altersbereich. Das Wachstum verlangsamt sich bei den Frauen früher (Altersklasse 13,0) als bei den Männern (Altersklasse 17,2). Ferner ist das Gesamtwachstum in dieser Untersuchung bei den Frauen geringer als bei den Männern. Diese Unterschiede sind mit einem früheren Eintritt der Frauen in die Pubertät und somit auch mit einem früheren Ende des Wachstums zu erklären (Tanner 1989).

Es zeigt sich durch die Messergebnisse also eine relative Bewegung des Foramen magnums nach posterior bezogen auf den größten Durchmesser des Neurocraniums [Abb. 29 Und 31]. Der Quotient der Strecke Cerebrum anterior – LotBasion durch den Durchmesser des Neurocraniums vergrößert sich um 3,2 Prozentpunkte von 57,1% auf 60,3% bei den Männern und um 2,7 Prozentpunkte von 56,7% auf 59,4% bei den Frauen über den gesamten Altersbereich. Dieser Quotient ist vergleichbar mit Bolks „Index basalis“. Bolk (1915, S. 649-651) beschreibt diese Verschiebung des Foramen magnums und konstatiert eine stabile Position des Foramen magnums bis zum achten Lebensjahr. Die Verschiebung fängt nach Bolk erst mit dem Beginn des Zahnwechsels an. Die Aussage lässt sich in dieser Untersuchung nicht

überprüfen, da die jüngsten Probanden schon 6 Jahre alt sind. Bolk (1915, S. 651) erklärt diese Verschiebung durch Knochenapposition in der spheno-occipitalen Synchondrose und Knochenresorption in der Squama des Os occipitale am Hinterrand des Foramen magnums. Der occipitale Teil des Schädels muss seinen Ausführungen nach einer absoluten Verkürzung unterliegen. Diese Aussage bestätigt sich in dieser Untersuchung [Abb. 18], die Streckenlänge Cerebrum posterior – LotBasion nimmt leicht ab. Ähnliches zeigt auch Bolks Datenmaterial, dass aber hier nicht sehr detailliert ist.

Beim erwachsenen Affen, besonders Gorilla und Schimpansen (Wyman 1869), liegt das Foramen magnum bezogen auf den äußeren Schädel erheblich weiter dorsal als beim Menschen. Beim jungen Gorilla und Schimpansen entspricht die Position des Foramen magnums fast der des Menschen. Im Verlauf des Wachstums verschiebt sich das Foramen magnum beim Affen bezogen auf den äußeren Schädel stark nach dorsal, beim Menschen dagegen nur leicht. Wyman beschreibt in seiner Untersuchung die statische Lage des Foramen magnums und vergleicht diese zwischen Menschen verschiedener ethnologischer Herkunft und verschiedenen Menschenaffen. Er untersucht nicht die dynamischen Veränderungen während des Wachstums wie zum Beispiel Bolk. Wyman (1869) stellt fest, dass kein nennenswerter Unterschied der Lage des Foramen magnums bei erwachsenen Menschen unterschiedlicher Hautfarbe aufgezeigt werden kann. Gleiches bestätigt eine aktuellere Studie von Luboga und Wood (1990). Die in dieser Studie (Luboga und Wood 1990) gemessenen Unterschiede bezüglich der Lage des Foramen magnums bei Menschen unterschiedlicher Ethnologie sind nur marginal ausgeprägt. Bolk (1915, S. 655-657) sieht diese anteriore Position des Foramen magnums beim Menschen gegenüber der des Affens als indirekte Folge des aufrechten Ganges. Laut Bolk ist der Zustand des menschlichen Schädels „nicht als ein sekundärer von jenem der Affen abzuleiten, sondern der Menschenschädel ist infolge des aufrechten Ganges behindert worden, affenähnlich zu werden.“ Nach Bolk (1915, S. 677) führt der aufrechte Gang gerade nicht zu einer evolutionären Umbildung, sondern die bestehenden kindlichen Verhältnisse werden fixiert, denn die fötale Konstruktion des Primatenschädels ist schon an

den aufrechten Gang vorzüglich angepasst.

Björk (1955) beschreibt die Dorsalverlagerung des Foramen magnums als Folge von Wachstum in der spheno-occipitalen Synchondrose. Er beobachtet eine Streckenverlängerung zwischen Sella und Basion von 4-5 mm im Alter von 12 bis 20 Jahren. Als Folge des Wachstums in der Synchondrose verlängert sich der Clivus. In dieser Untersuchung zeigt sich eine sagittale Verlängerung des Clivus (S\_LotS-LotBa) von 7,0 mm bei den Männer und 5,9 mm bei den Frauen [Abb. 22]. Die lateralen Anteile der Schädelbasis scheinen durch suturales und enchondrales Wachstum mitzuwachsen (Björk 1955). Björk beschreibt die Dorsalbewegung dieser lateralen Anteile als Folge einer körperlichen Bewegung des Unterkiefers nach hinten um durchschnittlich 3 mm im Alter zwischen 12 und 20 Jahren. Diese Dorsalbewegung kommt durch Überlagerung auf die vordere Schädelgrube zu Stande. Wird auf Sella überlagert, bewegt sich der Unterkiefer, das Foramen magnum und auch die Wirbelsäule nach dorsal.

Die Strecken Cerebrum posterior - LotBasion und Cerebrum posterior - LotOpisthion zeigen eine Verkürzung der Streckenlänge von ca. 3 mm [Abb. 18 und 20]. Es treten keine großen Unterschiede zwischen Männern und Frauen auf. Es erwiesen sich die Verkürzungen der Strecken zwischen erster (7,1) und vorletzter (17,2) Altersklasse bei den Frauen jedoch als nicht signifikant [Tabelle 8], bei den Männern unterschieden sich die Mittelwerte signifikant. Es stellt sich die Frage, wie diese Verkürzung besonders bei den Männern zu Stande kommt. Eine Erklärung besteht darin, dass Opisthion durch Knochenremodeling am Hinterrand des Foramen magnums Basion in der Bewegung folgt (Bolk 1915, S. 651). Im Bereich des Punktes Basion könnte Knochendeposition stattfinden. Der Durchmesser des Foramen magnums bliebe konstant.

Denkbar wäre auch eine durch Geometrieänderung verursachte Anteriorbewegung des Punktes Cerebrum posterior. Der Bereich des Os occipitale, in dem Cerebrum posterior liegt, müsste sich nach ventral bewegen. Das Os occipitale könnte eine Art Rotationsbewegung ausführen [Abb. 40]. Sie



kann aus Knochenresorption auf der Außenseite und Knochendeposition auf der Innenseite des Os occipitale resultieren oder es kann eine körperliche Rotation des Os occipitale ablaufen. Eine Studie von Cleall et al. (1968) an Ratten zeigt Knochenapposition im Bereich der Innenfläche der Squama occipitalis und Resorptionsvorgänge auf der mittleren Außenfläche der Hinterhauptschuppe. Hoyte (1971) beschreibt eine Rotation der gesamten occipitalen Region bei Ratten, Hasen und Meerschweinchen, die ein Resultat von Wachstum in der spheno-occipitalen Synchondrose sei. Die Ebene des Foramen magnum's richte sich vertikal auf (Hoyte 1971). Eine körperliche Rotation im engeren Sinne ist nur bei entsprechender Lage beziehungsweise Formveränderung der angrenzenden Schädelpartien denkbar.

Möglich ist natürlich auch eine Kombination, es könnte eine anteriore Rotation (körperlich und durch Remodeling bedingt) des gesamten Os occipitale und Remodeling im Bereich des Foramen magnum's ablaufen. Dies müsste mit einer Winkeländerung der Schnittwinkel zwischen dem Foramen magnum und z.B. der Frankfurter Horizontalen, Strecke Cerebrum anterior – Cerebrum posterior sowie Strecke Sella – Basion einhergehen. Es zeigen sich die erwarteten Winkelveränderungen, wenn auch zum Teil in recht geringem Umfang [siehe Kapitel 4.6]. Broseghini (2004) beschreibt die Strecke Basion - SOS basierend auf einer Untersuchung von Greiner (2000) ab dem 12. Lebensjahr als stabil. Dies schließt, wenn die Stabilität wirklich gegeben ist, somit im Umkehrschluss größere Knochendeposition ab dem 12. Lebensjahr im Bereich des Punktes Basion eher aus.

Welcher quantitative Anteil der Streckenveränderungen sich mit welchem der beschriebenen Vorgänge erklären lässt und ob und wie sich die lateralen Schädelpartien anpassen und verändern, kann differenziert mit den Daten dieser Untersuchung leider nicht feststellen werden.

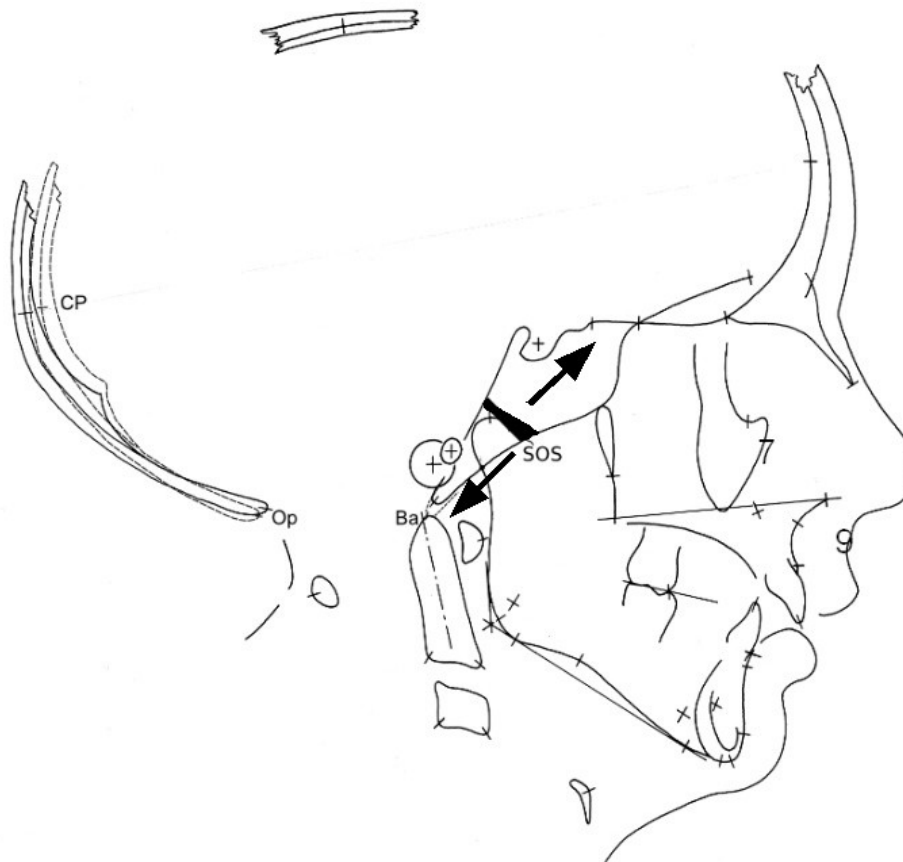


Abbildung 40: Rotation des Os occipitale

Das Hirnvolumen bleibt ab dem Alter von 10 Jahren sehr konstant (Björk 1955). Es findet stärkeres Wachstum im Bereich der spheno-occipitalen Synchondrose statt, es verlängert sich der mittlere Teil der Schädelbasis (S\_Ba-S) (veröffentlicht von Greiner 2000). Die beschriebenen Remodeling- und Rotationsvorgänge im Bereich des Os occipitale [Abb. 40] könnten die sagittale Distanz zum Foramen magnum und auch zu Cerebrum anterior verkürzen. Sie würden so zumindest teilweise das sagittale Längenwachstum der spheno-occipitalen Synchondrose ausgleichen und zur Konstanz des Schädelvolumens beitragen.

#### 4.4.2 Die sagittale Entwicklung von Porion und Articulare

Articulare und sein Lotfußpunkt [Abb. 12 und 17] verhalten sich wiederum sehr ähnlich wie Basion und Opisthion [Abb. 13, 15, 18 und 20]. In der hier durchgeführten Untersuchung zeigt sich über den gesamten Altersbereich eine Verlängerung der Strecke Cerebrum anterior – LotArticulare von 6,7 mm bei den Frauen und 9,3 mm bei den Männern über den gesamten Altersbereich [Abb. 12] und eine Verkürzung der Strecke Cerebrum posterior LotArticulare um 3,1 mm bei den Männern und Frauen [Abb. 17]. Die Streckenverlängerung von der Strecke Cerebrum anterior – LotArticulare ist bei den weiblichen Probanden weniger ausgeprägt und endet auch früher als bei den männlichen, was wiederum mit einem früheren Eintritt in die Pubertät und einem früheren Ende der hormonbedingten Wachstumsprozesse zu erklären ist. Articulare ist der projizierte Schnittpunkt vom pharyngealen Rand des Clivus mit dem Hinterrand des Ramus mandibulae. Durch das Clivuswachstum in der spheno-occipitalen Synchronrose verändert sich seine Lage. Coben (1955) hält die „Basion-Articulare Area“ für ein sehr stabiles Gebiet. Auch in unserer Untersuchung zeigt sich der Bereich LotBasion, LotArticulare und LotOpisthion zueinander als sehr stabil (Korrelationskoeffizienten der Messstrecken 0,8 bis 0,9). Dies lässt vermuten, dass die Wachstumsprozesse in der spheno-occipitalen Synchronrose die maßgebliche Ursache für die Streckenverlängerungen sind. Die Knochenanlagerung dorsal am Ramus mandibulae spielt wahrscheinlich nur eine untergeordnete Rolle bei der Längenzunahme der Strecke S\_CA-LotAr, da sich der gesamte Unterkiefer durch Wachstum im Bereich des Condylus nach anterior und kaudal verschiebt. Wachstum in der spheno-ethmoidalen Suture spielt bei den hier ermittelten Messergebnissen keine Rolle, da sie schon mit ca. 7 Jahren inaktiv ist (Melsen 1974).

Die sagittale Entwicklung des Punktes Porion (hier Mittelpunkt des äußeren knöchernen Gehörgangs) und seines Lotfußpunktes ist der Entwicklung von Basion, Opisthion und Articulare sehr ähnlich [Abb 16 und 21]. Greiner (2000,

S. 59) stellt fest, dass „größtenteils eine Übereinstimmung über die sagittale Lagebeziehung von Porion zu Basion vorlag“. Greiners Untersuchung ergibt einen konstanten horizontalen Abstand von Basion und Porion. Bolk (1915) konstatiert ein Nachhintenrücken des Foramen magnums sowie „der seitlichen Partie des Hirnschädels welche den Gehörgang einschließt“ (S. 680). Diese Beobachtungen von Bolk und Greiner können in dieser Untersuchung bestätigt werden. Auch Schultz sieht in seiner anthropologischen Untersuchung von 1918 die Lage des Foramen magnums zum äußeren Gehörgang in horizontaler Richtung als relativ konstant, in vertikaler Richtung aber als äußerst variabel an.

#### 4.5 Übersicht über die Veränderung der sagittalen Messstrecken

Betrachtet man die sagittalen Messstrecken noch einmal abschließend ergibt sich folgendes Bild [Abb. 41]:

Die Strecke Cerebrum posterior - LotOpisthion verkürzt sich um durchschnittliche 2,6 mm bei den Männern und um 2,9 mm<sup>ns</sup> bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

Die Strecke LotBasion – LotOpisthion bleibt über den gesamten Altersbereich relativ konstant.

Die Strecke LotSella – LotBasion verlängert sich um durchschnittliche 7,0 mm bei den Männern und um 5,9 mm bei den Frauen über den gesamten Altersbereich (Tab 27).

Die Strecke Cerebrum anterior – LotSella verändert sich bei den Männern und besonders bei den Frauen über den gesamten Altersbereich nur minimal.

Der größte Durchmesser des Neurocraniums (S\_CA-CP) vergrößert sich bei Männern um 6,2 mm und um 3,2 mm bei den Frauen über den gesamten Altersbereich.

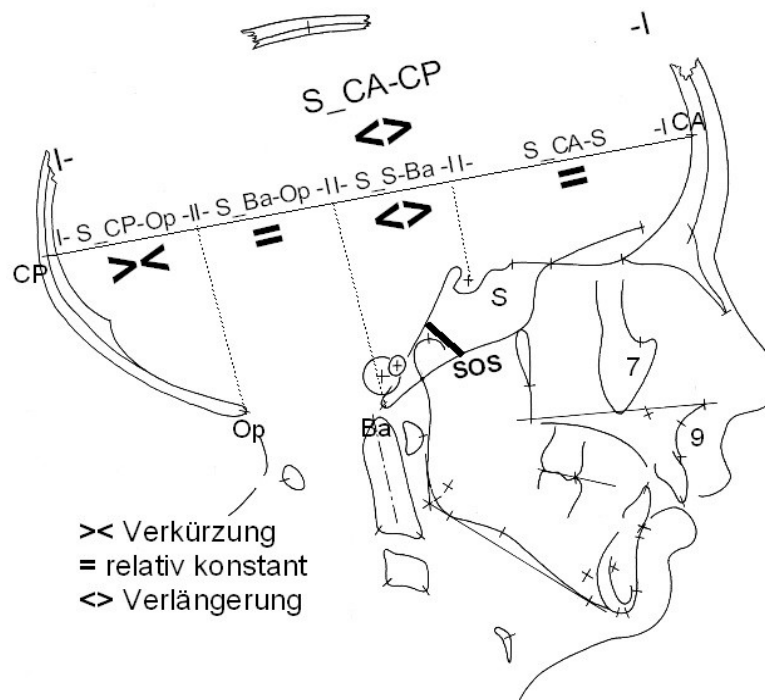


Abbildung 41: Übersicht über die Veränderung der sagittalen Messstrecken

#### 4.6 Veränderung der Geometrie der Schädelbasis (Veränderung der Schnittwinkel)

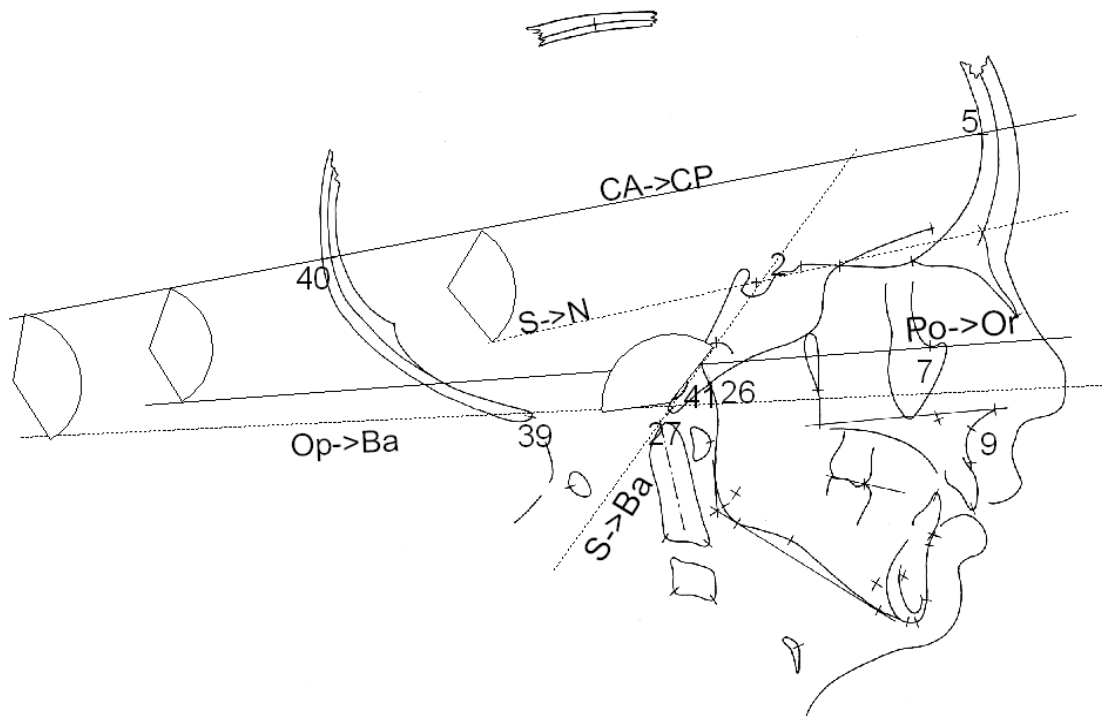


Abbildung 42: Berechnete Schnittwinkel

Die Schnittwinkel Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Sella-Nasion [Abb. 34] und zur Frankfurter Horizontalen (Strecke Orbitale-Porion) [Abb. 33] vergrößern sich mit durchschnittlich  $2^\circ$  nur minimal. Es gibt keinen nennenswerten Unterschied zwischen Männern und Frauen bei der Betrachtung dieser Winkel. Diese geringen Veränderungen sprechen für eine große vertikale Rotationsstabilität dieser Punkte zueinander.

Der Schnittwinkel des größten Durchmessers des Neurocraniums ( $S_{CA-CP}$ ) zum Foramen magnum ( $S_{Ba-Op}$ ) [Abb. 35] vergrößert sich um durchschnittlich  $5,5^\circ$  bei den Männern und um  $4,8^\circ$  bei den Frauen. Diese Winkelveränderung ist durch eine relative Kaudodorsalbewegung von Basion in Relation zu Sella zu erklären (Greiner 2000). Die auftretende Winkelveränderung ist hier stärker ausgeprägt als bei den übrigen gemessenen

Winkeländerungen wie der Frankfurter Horizontalen zu S\_CA-CP und der Strecke Sella-Nasion zum Foramen magnum [Abb. 33 und 36]. Die Winkelvergrößerung von S\_CA-CP zu S\_Ba-Op zeigt eine größere Geometrieänderung in diesem Bereich an, die mit den Wachstumsprozessen in der spheno-occipitalen Synchondrose und dadurch bedingtem Clivuswachstum erklärt werden können, welches sich auf diesen Winkel besonders stark auswirkt. Es wirft sich auch die Frage auf, inwieweit Resorptionsvorgänge im Bereich des Punktes Opisthion einen Beitrag zu dieser Winkelveränderung leisten. Die Messungen belegen, dass sich Basion vertikal stärker absenkt als Opisthion in Relation zu ihren Lotfußpunkten auf der Strecke S\_CA-CP [Tabelle 32 und 33 Anhang]. Auch Bolk (1915, S. 675) stellt fest, dass „am Kinderschädel die Ebene des Hinterhauptslotch durchschnittlich mehr nach vorn schaut als am Erwachsenen.“ Er bemerkt, dass die Verschiebung des Foramen magnum nach posterior mit einer Rotationsbewegung seiner Ebene einhergeht. Gleiches zeigte sich in dieser Untersuchung, das Foramen magnum liegt weiter posterior und der Schnittwinkel des Foramen magnum zum größten Durchmesser des Neurocraniums (S\_BA-OP zu S\_CA-CP) wird größer im Verlauf des Wachstums.

Der Schnittwinkel Sella-Basion zu Basion-Opisthion [Abb. 36] verkleinert sich um durchschnittlich  $2,2^\circ$  bei den Männern und um  $1,7^{\circ\text{ns}}$  bei den Frauen. Diese Verkleinerung zeigt auch die Untersuchung von Broseghini (2004). Sie benennt als mögliche Erklärungen „eine Bewegung des Foramen magnum nach kranial, eine Aufrichtung des Clivus nach dorsal oder aber eine Kombination von beidem“ (2004, S. 51). Des Weiteren kommt eine relative Kaudodorsalverschiebung von Basion in Betracht [Tabelle 18 und 32 Anhang]. Diese Verschiebung bei einer relativ konstanten vertikalen Lage von Opisthion [Tabelle 33 Anhang] würde die Winkeländerung erklären.

**Abschließend bleiben wesentliche Erkenntnisse und Antworten auf die in der Einführung gestellten Fragen festzuhalten:**

- 1) Die gemessenen Strecken im Schädel sind bei Männern im Durchschnitt größer als bei Frauen.
- 2) Die wesentlichen Wachstumsentwicklungen sind bei Frauen in der Regel ein bis zwei Altersklassen früher abgeschlossen als bei den Männern. Bei den Frauen ist das in der Mehrzahl der Fälle in Altersklasse 13,0, bei Männern in der Altersklasse 14,9 der Fall. Auch hiernach findet Wachstum, wenn auch in geringem Umfang, statt. Das vertikale Wachstum des Hirnschädels im Bereich der vorderen Schädelbasis ist ab dem sechsten Lebensjahr nur sehr gering ausgeprägt. Die Unterschiede der Mittelwerte erwiesen sich als nicht signifikant bei Männern und Frauen [Tabelle 12]. Vertikal im Bereich des Foramen magnums und sagittal ist das Wachstum bei Männern stärker ausgeprägt als bei Frauen.
- 3) In dem Bereich der spheno-occipitalen Synchondrose finden die wesentlichen Wachstumsveränderungen der Schädelbasis im Alter von 6 Jahren bis ins Erwachsenenalter statt. Die vordere Schädelgrube (S\_CA-LotS) verändert sich kaum noch. Das Foramen magnum bewegt sich, bezogen auf den größten Durchmesser des Neurocraniums, nach dorsal.
- 4) Die gemessenen Geometrieänderungen der Schädelbasis sind nur sehr gering im Altersbereich von 6 bis 30 Jahren ausgeprägt. Die Neigung des Foramen magnums zum größten Durchmesser des Neurocraniums ändert sich leicht um ca. 5°.



- 5) Die kephalometrischen Punkte Nasion, Orbitale und A-Punkt verschieben sich sagittal bezogen auf den größten Durchmesser des Neurocraniums alle in ähnlichem Umfang leicht nach anterior (um ca. 1,5 bis 3,1 Prozentpunkte).

Die Punkte Porion und Articulare verschieben sich sagittal, bezogen auf den größten Durchmesser des Hirnschädels, nach posterior (um ca. 1,4 bis 3,5 Prozentpunkte).

Sella bewegt sich sagittal bezogen auf die Strecke Cerebrum anterior – Cerebrum posterior fast nicht (um 0,2<sup>ns</sup> bis 0,4<sup>ns</sup> Prozentpunkte nach posterior).

- 6) Das Foramen magnum verschiebt sich bezogen auf dem größten Durchmesser des Hirnschädels um 3,2 Prozentpunkte bei den Männern und 2,7 bei den Frauen nach posterior (S\_CA-LotBa / S\_CA-CP).

Auch in Bolks Untersuchung von 1915 zeigte sich ein ähnliches Ausmaß der Verschiebung nach posterior (berechneter „Index basalis“ Tabelle S. 651).

## 5. Zusammenfassung

Ziel der Untersuchung war es, die sagittale Entwicklung der Schädelbasis, besonders des Foramen magnums, und des Oberkiefers bezogen auf den größten Durchmesser des Neurocraniums zu analysieren und quantifizieren.

Als Datenmaterial dienten die Koordinaten von verschiedenen kephalometrischen Punkten der Fernröntgenseitenbilder, die in zwei longitudinalen Studien von 1950 bis 1980 in Groningen (Niederlande) gewonnen wurden. Sie wurden zur Bestimmung der sagittalen Entwicklung des Schädels benutzt. Insgesamt wurden Daten von 1538 Fernröntgenseitenaufnahmen, die von 218 Personen stammten, ausgewertet. Die Probanden waren zwischen 6 und 32 Jahren alt. Sie wurden in 7 Altersklassen eingeteilt.

### Ergebnisse

- Die Wachstumsvorgänge der betrachteten Messstrecke enden bei den weiblichen Probanden in der Mehrzahl der Fälle früher als bei den männlichen Probanden.
- Der maximale Durchmesser des Neurocraniums wird bei den Männern in der Altersklasse 14,9 Jahre und bei den Frauen in der Altersklasse 13,0 Jahre erreicht.
- Insgesamt wächst das Neurocranium vom 6. Lebensjahr bis ins Erwachsenenalter um 6,2 mm sagittal (Cerebrum anterior – Cerebrum posterior) und um 1,7 mm<sup>ns</sup> vertikal (Sella – Cerebrum superior) bei den männlichen Probanden. Bei den weiblichen Probanden vergrößert sich das Neurocranium sagittal (Cerebrum anterior – Cerebrum posterior) um 3,2 mm und vertikal um 0,9 mm<sup>ns</sup> (Strecke Sella – Cerebrum superior) im Bereich der vorderen Schädelbasis. Im Bereich des Foramen magnums vergrößern sich die vertikalen Messstrecken Cerebrum superior - Basion und Cerebrum superior - Opisthion um 5,5 mm bzw. 4,7 mm bei den Männern und um 4,1 mm bzw. 3,5 mm<sup>ns</sup> bei den Frauen.

---

<sup>ns</sup>=nicht signifikante Differenz zwischen den Mittelwerte der ersten und vorletzten Altersklasse

- Sowohl anteriores Wachstum der Stirnhöhle als auch eine anteriore Bewegung des Oberkiefers finden statt.
- Das Foramen magnum bewegt sich bezogen auf den größten Durchmesser des Hirnschädels nach posterior und kaudal. Es bewegt sich etwas stärker nach kaudal im Bereich des Vorderrands.
- Die benachbarten Messpunkte der vorderen, mittleren und hinteren Schädelbasis verhalten sich jeweils sehr ähnlich in Wachstumsumfang und Wachstumsrichtung.
- Die Hauptwachstumsprozesse finden sehr wahrscheinlich in der spheno-occipitalen Synchronrose statt. Zusätzlich laufen vermutlich Remodelingprozesse im Bereich des Foramen magnums und des Hinterhauptsbeins ab.
- Die gemessenen Winkeländerungen von Frankfurter Horizontale und der Strecke Sella - Nasion zur Strecke Cerebrum anterior – Cerebrum posterior sind gering ( $<2,1^\circ$ ). Die Messpunkte scheinen eine hohe vertikale Stabilität zueinander über den gesamten Altersbereich der Untersuchung aufzuweisen.
- Die beobachteten Winkelveränderungen vom größten Durchmesser des Neurocraniums zum Foramen magnum ( $5,5^\circ$  bei Männern und  $4,8^\circ$  bei Frauen) sind durch eine stärkere Kaudalbewegung des Vorderrandes des Hinterhauptslochs, verursacht durch Clivuswachstum im Bereich der spheno-occipitalen Synchronrose, zu erklären.

## 5. Summary

This study aimed to analyze and quantify the sagittal development of the cranial base - particularly of the Foramen magnum - and the upper jaw relative to the largest diameter of the neurocranium. The data were landmarks on lateral cephalograms from two longitudinal studies in Groningen (Netherlands) between 1950 and 1980. They were used to define the sagittal development of the cranium. There were 1538 lateral cephalograms taken from 218 participants aged 6 to 32 years. These participants were divided into 7 different age groups.

### Results:

- In the majority of measurements growth is ending earlier in female participants than in male participants.
- The maximum diameter of the neurocranium is reached in men at the average age of 14.9 years and in women at the average age of 13.0 years.
- The overall growth of the neurocranium between age 6 years and adulthood amounts up to 6.2 mm sagittally (Cerebrum anterior – Cerebrum posterior) and to 1.7 mm<sup>ns</sup> vertically (Sella – Cerebrum superior) in male participants. With regard to female participants the neurocranium grew 3.2 mm sagittally and 0.9 mm<sup>ns</sup> vertically (Sella – Cerebrum superior) in the area of the anterior cranial base. In the area of the Foramen magnum the vertically dimensions Cerebrum superior - Basion and Cerebrum superior - Opisthion grew 5.5 mm respectively 4.7 mm in men, and 4.1 mm respectively 3.5 mm<sup>ns</sup> in women.
- Both an anterior growth of the frontal sinus and an anterior movement of the upper jaw took place.
- The Foramen magnum showed a posterior and caudal movement relative to the maximum diameter of the cranium. The anterior edge of the Foramen magnum moved slightly more caudal.

---

<sup>ns</sup>=not significant difference between the means of first and penultimate class of age ("Altersklasse")

- The neighboring landmarks of the anterior, middle, and posterior skull base each show similar growth in both rate and direction.
- It is likely that the major growth processes take place in the spheno-occipital synchondrosis. Additionally remodeling processes in the area of the Os occipitale and Foramen magnum probably proceed.
- The measured changes of angles between the Frankfurt Horizontals and the Celebrum anterior – Celebrum posterior line, as well as between the Sella – Nasion line and the Celebrum anterior – Celebrum posterior line are marginal ( $<2.1^\circ$ ). The measuring points seem to have a high vertical stability to each other concerning the whole age range of the study.
- The angular change that has been observed between the maximum diameter of the neurocranium and the Foramen magnum ( $5.5^\circ$  in men, and  $4.8^\circ$  in women) are explained by a larger caudal movement of the anterior edge of the Foramen magnum caused by growth in the area of the spheno-occipital synchondrosis.

## **6. Literatur**

### **Alp CM 1997**

Schädelmorphologie bei tiefem und offenem Biss unter besonderer Berücksichtigung der räumlichen Beziehung zwischen Mandibula und Halswirbelsäule (Eine röntgenkephalometrische Untersuchung). Dissertation Philipps-Universität Marburg

### **Axelsson S 2003**

Longitudinal cephalometric standards for the neurocranium in Norwegians from 6 to 21 years of age. European Journal of Orthodontics, 25: 185-198

### **Bolk L 1915**

Über Lagerung, Verschiebung und Neigung des Foramen magnum am Schädel der Primaten. Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie, 17: 611-692

### **Bolk L 1926**

Das Problem der Menschwerdung. Vortrag, gehalten am 15. April 1926 auf der XXV. Versammlung der Anatomischen Gesellschaft zu Freiburg. Verlag von Gustav Fischer in Jena

### **Björk A 1955**

Cranial Base Development. American Journal of Orthodontics, 41: 198-225

### **Björk A 1964**

Sutural growth of the upper face studied by the implant method. Transactions of the European Orthodontic Society, 40: 49-65

**Broadbent BH 1931**

A new x-ray technique and its application to Orthodontia. Angel Orthodontist, 1: 45-66

**Broseghini B 2004**

Das Wachstum des Pharyngealraums (Eine laterale röntgenkephalometrische Untersuchung auf Grundlage einer Schädelammlung). Dissertation Philipps-Universität Marburg

**Bühl A, Zöfel P 1996**

SPSS für Windows Version 6.1. 3. Auflage, Addison Wesley Longman Verlag GmbH

**Cleall JF 1968**

Normal craniofacial skeletal growth of the rat. American journal of physical anthropology, 29: 225-242

**Coben SE 1955**

The integration of facial skeletal variants. American Journal of Orthodontics, 41: 407-434

**Darwin C 1859**

On the Origin of Species (by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life.) Down, Bromley, Kent

([http://embryology.med.unsw.edu.au/pdf/Origin\\_of\\_Species.pdf](http://embryology.med.unsw.edu.au/pdf/Origin_of_Species.pdf))

**Dibbets JHM, Müller B 2007**

Wachstumsprozesse und -mechanismen 1. vorlesungsbegleitendes Skript für das vierte klinische Semester, Version 0.92, Philipps-Universität Marburg

**Enlow DH, Hunter WS 1968**

The growth of the face in relation to the cranial base. Transactions of the European Orthodontic Society, 321-335, Michigan, USA

**Enlow DH 1982**

Handbook of facial growth. 2nd edition. W.B. Saunders Company, Philadelphia, London, Toronto

**Eßer MM 2007**

Platzverhältnisse in der Oberkieferfront. Dissertation Philipps-Universität Marburg

**Ford EHR 1958**

Growth of the human cranial Base. American Journal of Orthodontics, 44: 498-506

**Gerver W 1988**

Measurement of the body proportions in children (the oosterwolde study). Dissertation Universität Groningen (NL): 46

**Greiner, P 2000**

Die Frankfurter Horizontale. Eine anatomisch-röntgenkephalometrische Untersuchung zur Lageveränderung von Porion und Orbita während des Wachstums. Dissertation Philipps-Universität Marburg

**Hecht JT et al 1989**

Growth of the Foramen Magnum in Achondroplasia. American journal of Medical Genetics, 32: 528-535



**Horch H-H (Hrsg) 2006**

Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie. 4. Auflage. Urban & Fischer Verlag, München

**Hoyte DAN. 1971**

Mechanisms of Growth in the Cranial Vault and Base. Journal of dental research Nov-Dec, 50(6): 1447-1461

**Lieberman DE, Ross CF, Ravosa MJ 2000**

The primate cranial base ontogeny, function, and integration. American journal of physical anthropology, 31: 117-169

**Luboga SA, Wood BA 1990**

Position and Orientation of the Foramen Magnum in Higher Primates. American journal of physical anthropology, 81: 67-76

**Maxeiner H, Behnke M. 2008**

Intracranial volume, brain volume, reserve volume and morphological signs of increased intracranial pressure – A post-mortem analysis. Legal Medicine, 10: 293-300

**Melsen B 1974**

The cranial base. Acta Odontologica Scandinavica Supplement 62

**Nanda RS 1976 (Revised 1978)**

Craniofacial Growth. Printed by Contemporary Printing, Oklahoma City, 91-100

**Powell TV, Brodie AG 1963**

Closure of the Spheno-occipital Synchondrosis. Anatomical Record, 147: 15-23

**Schultz A 1918**

Anthropologische Untersuchungen an der Schädelbasis. Archiv für Anthropologie NF, 16: 1-104

**Senyürek MS 1938**

Cranial Equilibrium Index. American Journal of Physical Anthropology, Vol. 24, No. 1 July-September: 23-41

**Szilvássy J 1981**

Zur Entwicklung der Stirnhöhlen. Anthropologischer Anzeiger, Jg 39: 138-149

**Tanner JM 1989**

Foetus into Man. Physical Growth from Conception to Maturity. Castleman Publications, 2<sup>nd</sup> edition Ware, Hertfordshire

**Thilander B, Ingervall B 1973**

The Human speno-occipital synchondrosis IIa. A histological study of its Growth. Acta Odontologica Scandinavica, 31: 323-336

**Tschechne S 2005**

Die sagittale Entwicklung des Oberkiefers. Dissertation Philipps-Universität Marburg

**Virchow R 1857**

Untersuchung über die Entwicklung des Schädelgrunds im gesunden und krankhaften Zustande und über den Einfluß derselben auf Schädelform, Gesichtsbildung und Gehirnbau. Reimer. Berlin, 115-121

**Wyman J 1869**

On the Position of the Foramen magnum. Anthropological Review, 7: 152-154

**Zuckerman S 1955**

Age changes in the basicranial axis of the human skull. American Journal of Physical Anthropology, 13: 521-539

## 7. Anhang

### 7.1 Tabellen Strecken, Quotienten und Winkel

**Tabelle 13:** Durchmesser Neurocranium [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	169,5	6,3	7,1	98	168,4	7,4
9,1	141	171,2	6,8	9,1	122	169,1	6,4
11,0	126	172,8	6,8	11,0	135	170,2	6,6
12,9	145	173,4	6,8	13,0	125	172	6,5
14,9	122	174,5	7,6	14,9	120	171,1	7,0
17,2	98	173,4	7,9	17,2	94	172,3	7,9
27,4	37	175,7	5,3	28,2	35	171,6	4,5

**Tabelle 14:** Strecke Cerebrum anterior - LotNasion [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	118	7	2,2	7,1	98	7,7	2,5
9,1	139	5,8	2,3	9,1	122	6,2	2,6
11,0	124	4,9	2,4	11,0	135	5,6	2,5
12,9	134	4,2	2,3	13,0	122	4,6	2,7
14,9	96	3,5	2,3	14,9	114	4,2	2,7
17,2	64	3,2	2,1	17,2	89	3,6	2,7
27,4	20	3,4	2,2	28,2	31	2,6	1,8

**Tabelle 15:** Strecke Cerebrum anterior - LotOrbitale [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	24,1	3,0	7,1	98	24,1	3,1
9,1	141	23,5	3,2	9,1	122	23,3	3,5
11,0	126	23,4	3,3	11,0	135	23,1	3,0
12,9	145	22,3	2,9	13,0	125	22,3	3,4
14,9	122	21,7	3,5	14,9	120	21,8	3,6
17,2	98	21,5	4,1	17,2	94	21,7	3,6
27,4	37	21,8	4,5	28,2	35	20,6	2,8

**Tabelle 16:** Strecke Cerebrum anterior - LotA-Punkt [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	15,6	3,8	7,1	98	16,1	3,9
9,1	141	15,2	4,0	9,1	122	15,4	4,3
11,0	126	15	4,2	11,0	135	15,9	4,2
12,9	145	13,9	4,0	13,0	125	14,7	4,4
14,9	122	13,3	4,3	14,9	120	14,7	4,6
17,2	98	13	4,8	17,2	94	14,6	4,6
27,4	37	12,5	5,9	28,2	35	13,7	4,2

**Tabelle 17:** Strecke Cerebrum anterior - LotArticulare [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	114	85,4	3,6	7,1	93	84,4	3,5
9,1	138	86,5	3,5	9,1	119	85,7	3,5
11,0	125	88,5	3,8	11,0	132	87,3	3,6
12,9	145	89,9	3,7	13,0	125	89,2	3,5
14,9	122	91,7	4,2	14,9	120	89,8	3,7
17,2	98	92,9	3,9	17,2	94	90,3	3,7
27,4	37	94,7	3,8	28,2	35	91,1	2,9

**Tabelle 18:** Strecke Cerebrum anterior - LotBasion [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	96,7	4,0	7,1	98	95,4	3,9
9,1	141	97,8	4,0	9,1	122	96,2	3,7
11,0	125	100,1	4,0	11,0	135	98,2	3,9
12,9	143	101,3	3,9	13,0	125	100,2	3,9
14,9	121	103,2	4,3	14,9	120	100,4	4,3
17,2	97	104,3	4,3	17,2	94	100,8	4,5
27,4	36	105,9	4,3	28,2	35	101,8	2,5

**Tabelle 19:** Strecke Cerebrum anterior - LotSella [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	68,6	2,8	7,1	98	68	3,4
9,1	141	68,9	2,7	9,1	122	68	3,3
11,0	126	69,6	3,0	11,0	135	68,3	3,0
12,9	145	69,4	2,7	13,0	125	68,8	3,4
14,9	122	69,6	2,9	14,9	120	68,7	3,5
17,2	98	69,9	2,6	17,2	94	68,5	3,5
27,4	37	70,8	3,3	28,2	35	68,6	2,7

**Tabelle 20:** Strecke Cerebrum anterior - LotOpisthion [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	130,8	4,8	7,1	98	128,6	4,6
9,1	141	132,5	5,0	9,1	122	129,8	4,5
11,0	126	134,8	5,4	11,0	135	131,8	4,6
12,9	145	136,1	5,3	13,0	125	133,8	4,3
14,9	122	137,8	5,4	14,9	120	133,9	5,0
17,2	98	138,3	4,6	17,2	94	134,3	5,1
27,4	37	139,7	4,5	28,2	35	134,7	3,5

**Tabelle 21:** Strecke Cerebrum anterior - LotPorion [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	93,2	3,7	7,1	98	92,3	3,6
9,1	141	94,3	3,7	9,1	122	93,1	3,6
11,0	126	95,8	4,2	11,0	135	94,2	3,6
12,9	145	96,6	3,9	13,0	125	95,6	3,7
14,9	122	98,0	4,2	14,9	120	95,7	3,7
17,2	97	98,8	3,8	17,2	94	95,8	3,7
27,4	37	100,5	4,1	28,2	35	96,6	2,8

**Tabelle 22:** Strecke Cerebrum posterior - LotArticulare [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	114	84,1	6,0	7,1	93	83,6	5,4
9,1	138	84,7	6,6	9,1	119	83,6	4,8
11,0	125	84,2	6,7	11,0	132	83,0	4,8
12,9	145	83,5	6,4	13,0	125	82,9	5,3
14,9	122	82,9	7,0	14,9	120	81,3	5,6
17,2	98	80,5	7,1	17,2	94	82,0	6,0
27,4	37	81,0	4,1	28,2	34	80,5	3,9

**Tabelle 23:** Strecke Cerebrum posterior - LotBasion [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	72,8	6,0	7,1	98	73,0	5,3
9,1	141	73,4	6,4	9,1	122	72,9	4,7
11,0	125	72,7	6,5	11,0	135	72,0	5,1
12,9	143	72,1	6,5	13,0	125	71,8	5,2
14,9	121	71,3	7,1	14,9	120	70,7	5,2
17,2	97	69,1	7,3	17,2	94	71,5	5,4
27,4	36	69,7	4,3	28,2	35	69,8	4,4

**Tabelle 24:** Strecke Cerebrum posterior - LotSella [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	100,9	5,4	7,1	98	100,4	5,6
9,1	141	102,3	6,2	9,1	122	101,1	4,8
11,0	126	103,2	6,1	11,0	135	102,0	5,4
12,9	145	104,0	6,1	13,0	125	103,3	5,7
14,9	122	104,9	6,9	14,9	120	102,4	5,9
17,2	98	103,5	7,2	17,2	94	103,8	6,4
27,4	37	104,9	4,6	28,2	35	103,1	5,4

**Tabelle 25:** Strecke Cerebrum posterior - LotOpisthion [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	38,6	6,0	7,1	98	39,8	5,6
9,1	141	38,7	6,3	9,1	122	39,4	4,8
11,0	126	38,0	6,3	11,0	135	38,4	5,4
12,9	145	37,3	6,3	13,0	125	38,2	5,4
14,9	122	36,7	6,6	14,9	120	37,2	5,4
17,2	98	35,1	6,9	17,2	94	38,1	6,0
27,4	37	36,0	3,9	28,2	35	36,9	3,9

**Tabelle 26:** Strecke Cerebrum posterior - LotPorion [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	76,2	5,6	7,1	98	76,1	5,8
9,1	141	76,9	6,2	9,1	122	76,0	4,7
11,0	126	77,0	6,4	11,0	135	76,0	5,1
12,9	145	76,8	6,4	13,0	125	76,4	5,4
14,9	122	76,6	6,6	14,9	120	75,4	5,7
17,2	97	74,5	7,1	17,2	94	76,5	6,1
27,4	37	75,2	4,0	28,2	35	75,0	4,3

**Tabelle 27:** LotSella - LotBasion [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	28,1	2,4	7,1	98	27,4	2,3
9,1	141	28,9	2,5	9,1	122	28,3	2,2
11,0	125	30,5	2,6	11,0	135	29,9	2,6
12,9	143	31,9	3,0	13,0	125	31,4	2,4
14,9	121	33,6	3,1	14,9	120	31,7	2,6
17,2	97	34,1	3,4	17,2	94	32,3	3,0
27,4	36	35,1	3,2	28,2	35	33,3	2,6

**Tabelle 28:** Sella - Cerebrum superior [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	94	108,4	4,2	7,1	82	105,9	3,9
9,1	130	109,0	3,9	9,1	113	105,4	3,6
11,0	119	109,2	3,9	11,0	132	105,8	4,3
12,9	137	109,2	4,2	13,0	125	106,5	4,5
14,9	110	108,8	4,2	14,9	119	106,0	4,4
17,2	85	108,6	4,1	17,2	93	106,5	4,6
27,4	49	110,1	4,3	28,2	39	106,8	4,2

**Tabelle 29:** Cerebrum superior - LotCerebrum superior [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	94	80,7	3,8	7,1	82	79,0	3,7
9,1	130	80,7	3,7	9,1	113	78,8	3,8
11,0	119	80,9	3,1	11,0	132	79,0	3,6
12,9	137	80,6	3,5	13,0	125	79,4	3,5
14,9	110	80,4	3,5	14,9	119	79,1	3,4
17,2	83	80,2	3,3	17,2	92	79,3	3,4
27,4	36	82,1	3,5	28,2	34	81,4	3,6

**Tabelle 30:** Cerebrum superior - Basion

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	94	134,6	4,2	7,1	82	130,7	4,6
9,1	130	136,2	4,5	9,1	113	132,2	4,3
11,0	118	137,8	4,5	11,0	132	133,2	4,2
12,9	135	137,8	4,8	13,0	125	134,3	4,4
14,9	109	138,1	5,4	14,9	119	134,4	4,6
17,2	84	138,6	6,0	17,2	93	134,7	4,4
27,4	48	140,1	5,5	28,2	39	135,4	3,8



**Tabelle 31:** Cerebrum superior - Opisthion

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	94	138	4,5	7,1	82	134,9	4,4
9,1	130	139,5	4,6	9,1	113	136,4	4,4
11,0	119	140,2	4,5	11,0	132	136,5	4,8
12,9	137	140,3	4,8	13,0	125	136,9	5,1
14,9	110	140,1	5,9	14,9	119	136,9	5,6
17,2	85	140	6,9	17,2	93	137,4	5,1
27,4	49	142,1	6,3	28,2	29	138,4	4,5

**Tabelle 32:** Basion - LotBasion [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	56,0	3,5	7,1	98	54,5	3,4
9,1	141	57,6	3,8	9,1	122	55,6	3,3
11,0	125	58,5	3,7	11,0	132	56,5	3,3
12,9	143	59,5	4,0	13,0	125	57,4	3,6
14,9	121	60,3	4,5	14,9	120	57,7	3,6
17,2	97	61,0	4,7	17,2	94	57,9	2,9
27,4	36	61,5	4,7	28,2	35	57,5	2,9

**Tabelle 33:** Opisthion - LotOpisthion [mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	53,9	3,7	7,1	98	53,4	3,7
9,1	141	55,3	3,8	9,1	122	54,2	3,8
11,0	126	55,6	4,2	11,0	135	53,7	3,6
12,9	145	55,8	3,7	13,0	125	53,8	3,5
14,9	122	55,5	4,6	14,9	120	53,7	3,4
17,2	98	55,4	5,2	17,2	94	54,0	3,4
27,4	37	56,1	5,8	28,2	35	53,6	3,6

**Tabelle 34:** LotBasion - LotSella[mm]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [mm]	SD
7,0	119	28,1	2,4	7,1	98	27,3	2,3
9,1	141	28,9	2,5	9,1	122	28,3	2,2
11,0	125	30,5	2,6	11,0	135	29,9	2,6
12,9	143	31,9	3,0	13,0	125	31,4	2,4
14,9	121	33,6	3,1	14,9	120	31,7	2,6
17,2	97	34,3	3,4	17,2	94	32,3	3,0
27,4	36	35,0	3,2	28,2	35	33,3	2,6

**Tabelle 35:** Quotient: Cerebrum anterior - LotNasion / Durchmesser Neurocranium

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD
7,0	118	4,1	0,013	7,1	98	4,6	0,014
9,1	139	3,4	0,013	9,1	122	3,6	0,015
11,0	124	2,9	0,014	11,0	135	3,3	0,014
12,9	134	2,4	0,014	13,0	122	2,7	0,016
14,9	96	2,0	0,013	14,9	114	2,5	0,016
17,2	64	1,8	0,012	17,2	89	2,1	0,016
27,4	20	1,9	0,012	28,2	31	1,5	0,010

**Tabelle 36:** Quotient: Cerebrum anterior - LotOrbitale / Durchmesser Neurocranium

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD
7,0	119	14,2	0,018	7,1	98	14,3	0,017
9,1	141	13,8	0,019	9,1	122	13,8	0,018
11,0	126	13,6	0,020	11,0	135	13,6	0,017
12,9	145	12,9	0,017	13,0	125	13,0	0,019
14,9	122	12,4	0,020	14,9	120	12,8	0,020
17,2	98	12,4	0,023	17,2	94	12,6	0,020
27,4	37	12,4	0,024	28,2	35	12,0	0,017

**Tabelle 37:** Quotient: Cerebrum anterior - LotA-Punkt / Durchmesser Neurocranium

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD
7,0	119	9,2	0,022	7,1	98	9,5	0,022
9,1	141	8,9	0,024	9,1	122	9,1	0,024
11,0	126	8,7	0,024	11,0	135	9,3	0,024
12,9	145	8,0	0,023	13,0	125	8,6	0,025
14,9	122	7,6	0,025	14,9	120	8,6	0,027
17,2	98	7,5	0,027	17,2	94	8,5	0,027
27,4	37	7,1	0,033	28,2	35	8,0	0,025

**Tabelle 38:** Quotient: Cerebrum anterior - LotArticulare / Durchmesser Neurocranium

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD
7,0	114	50,4	0,023	7,1	93	50,3	0,017
9,1	138	50,6	0,024	9,1	119	50,7	0,017
11,0	125	51,3	0,025	11,0	132	51,3	0,017
12,9	145	51,9	0,023	13,0	125	51,9	0,018
14,9	122	52,6	0,025	14,9	120	52,5	0,019
17,2	98	53,6	0,025	17,2	94	52,5	0,018
27,4	37	53,9	0,017	28,2	35	53,1	0,016

**Tabelle 39:** Quotient: Cerebrum anterior - LotBasion / Durchmesser Neurocranium

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD
7,0	119	57,1	0,025	7,1	98	56,7	0,018
9,1	141	57,2	0,026	9,1	122	56,9	0,017
11,0	125	58,0	0,026	11,0	135	57,7	0,019
12,9	143	58,5	0,026	13,0	125	58,3	0,020
14,9	121	59,2	0,027	14,9	120	58,7	0,020
17,2	97	60,2	0,029	17,2	94	58,5	0,019
27,4	36	60,3	0,020	28,2	35	59,4	0,018

**Tabelle 40:** Quotient: Cerebrum anterior - LotSella / Durchmesser Neurocranium

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD
7,0	119	40,5	0,015	7,1	98	40,4	0,015
9,1	141	40,3	0,017	9,1	122	40,2	0,014
11,0	126	40,3	0,018	11,0	135	40,1	0,016
12,9	145	40,0	0,016	13,0	125	40,0	0,018
14,9	122	39,9	0,018	14,9	120	40,2	0,018
17,2	98	40,4	0,018	17,2	94	39,8	0,017
27,4	37	40,3	0,016	28,2	35	40,0	0,020

**Tabelle 41:** Quotient: Cerebrum anterior - LotOpisthion / Durchmesser Neurocranium

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD
7,0	119	77,3	0,030	7,1	98	76,4	0,025
9,1	141	77,5	0,031	9,1	122	76,8	0,023
11,0	126	78,1	0,031	11,0	135	77,5	0,026
12,9	145	78,5	0,031	13,0	125	77,8	0,025
14,9	122	79,0	0,032	14,9	120	78,3	0,026
17,2	98	79,8	0,033	17,2	94	78,0	0,027
27,4	37	79,6	0,020	28,2	35	78,5	0,020

**Tabelle 42:** Quotient: Cerebrum anterior - LotPorion / Durchmesser Neurocranium

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [%]	SD
7,0	119	55,1	0,022	7,1	98	54,9	0,019
9,1	141	55,1	0,023	9,1	122	55,1	0,017
11,0	126	55,5	0,025	11,0	135	55,4	0,018
12,9	145	55,7	0,024	13,0	125	55,6	0,020
14,9	122	56,2	0,025	14,9	120	56,0	0,020
17,2	97	57,1	0,026	17,2	94	55,6	0,019
27,4	37	57,2	0,017	28,2	35	56,3	0,017

**Tabelle 43:** Schnittwinkel Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Nasion-Sella [Grad]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [Grad]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [Grad]	SD
7,0	119	2,4	3,33	7,1	98	2,6	2,83
9,1	141	2,3	3,05	9,1	122	2,9	2,96
11,0	126	3,0	2,97	11,0	135	3,8	2,83
12,9	145	3,0	2,90	13,0	125	3,7	2,62
14,9	122	3,3	2,87	14,9	120	3,9	2,41
17,2	98	4,2	2,78	17,2	94	4,1	2,57
27,4	35	4,5	3,50	28,2	35	4,4	2,66

**Tabelle 44:** Schnittwinkel Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Orbitale-Forion [Grad]

Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [Grad]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [Grad]	SD
7,0	119	8,8	2,94	7,1	97	8,7	2,87
9,1	141	8,8	2,91	9,1	122	8,8	2,91
11,0	126	9,4	2,70	11,0	135	9,3	2,53
12,9	145	9,4	2,69	13,0	125	9,8	2,61
14,9	122	9,7	2,89	14,9	120	10,2	2,62
17,2	97	10,4	3,03	17,2	94	10,5	2,24
27,4	37	10,8	2,94	28,2	35	10,4	2,22

**Tabelle 45:** Schnittwinkel Cerebrum anterior - Cerebrum posterior zu Basion-Opisthion [Grad]

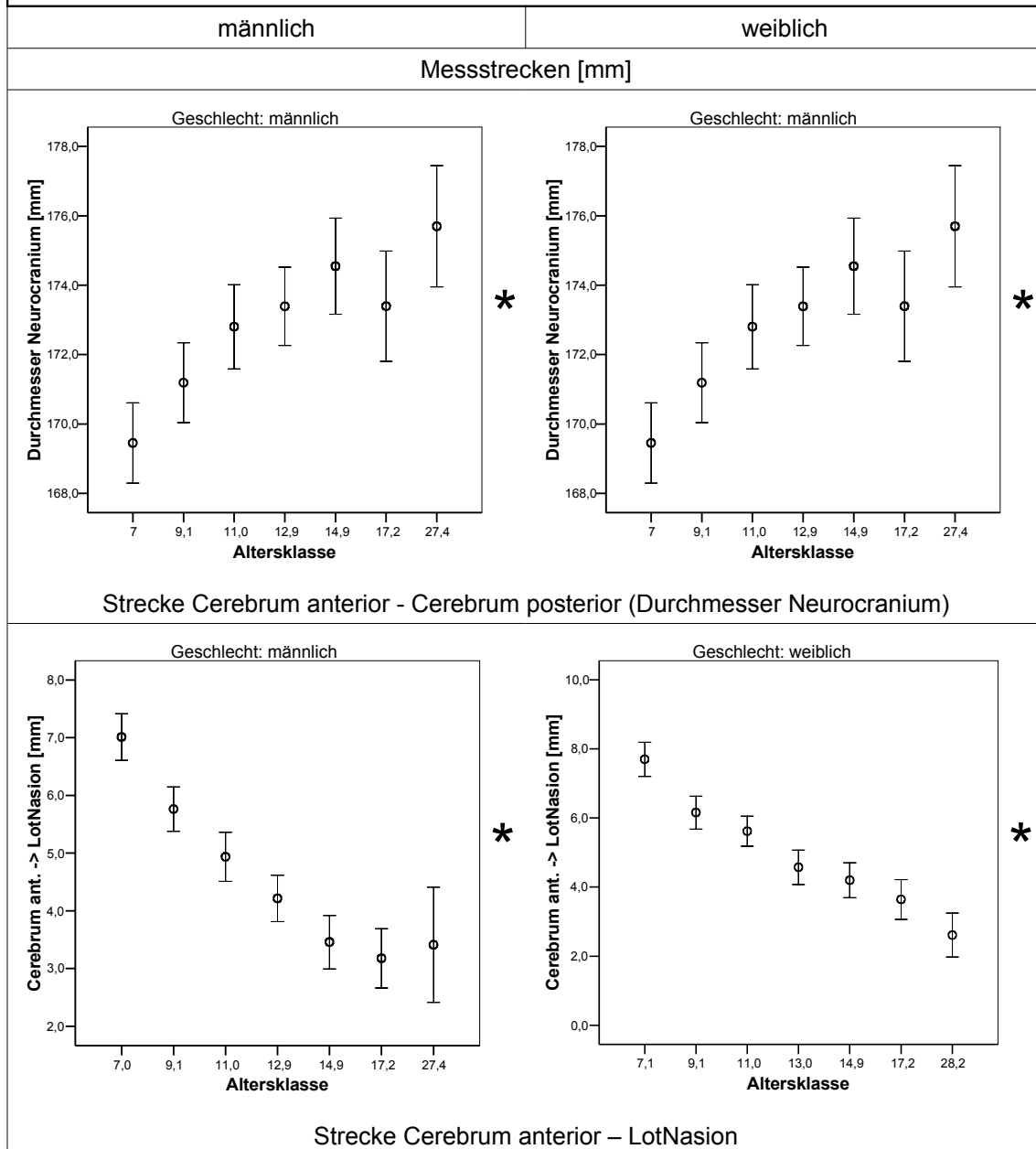
Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [Grad]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [Grad]	SD
7,0	119	3,4	4,48	7,1	98	1,8	4,27
9,1	141	3,6	4,88	9,1	122	2,3	4,3
11,0	125	4,7	5,02	11,0	135	4,6	4,85
12,9	143	6,0	5,26	13,0	125	6,0	4,85
14,9	121	7,7	5,75	14,9	120	6,7	5,05
17,2	97	9,2	5,57	17,2	94	6,5	4,69
27,4	36	8,9	6,39	28,2	35	6,6	5,35

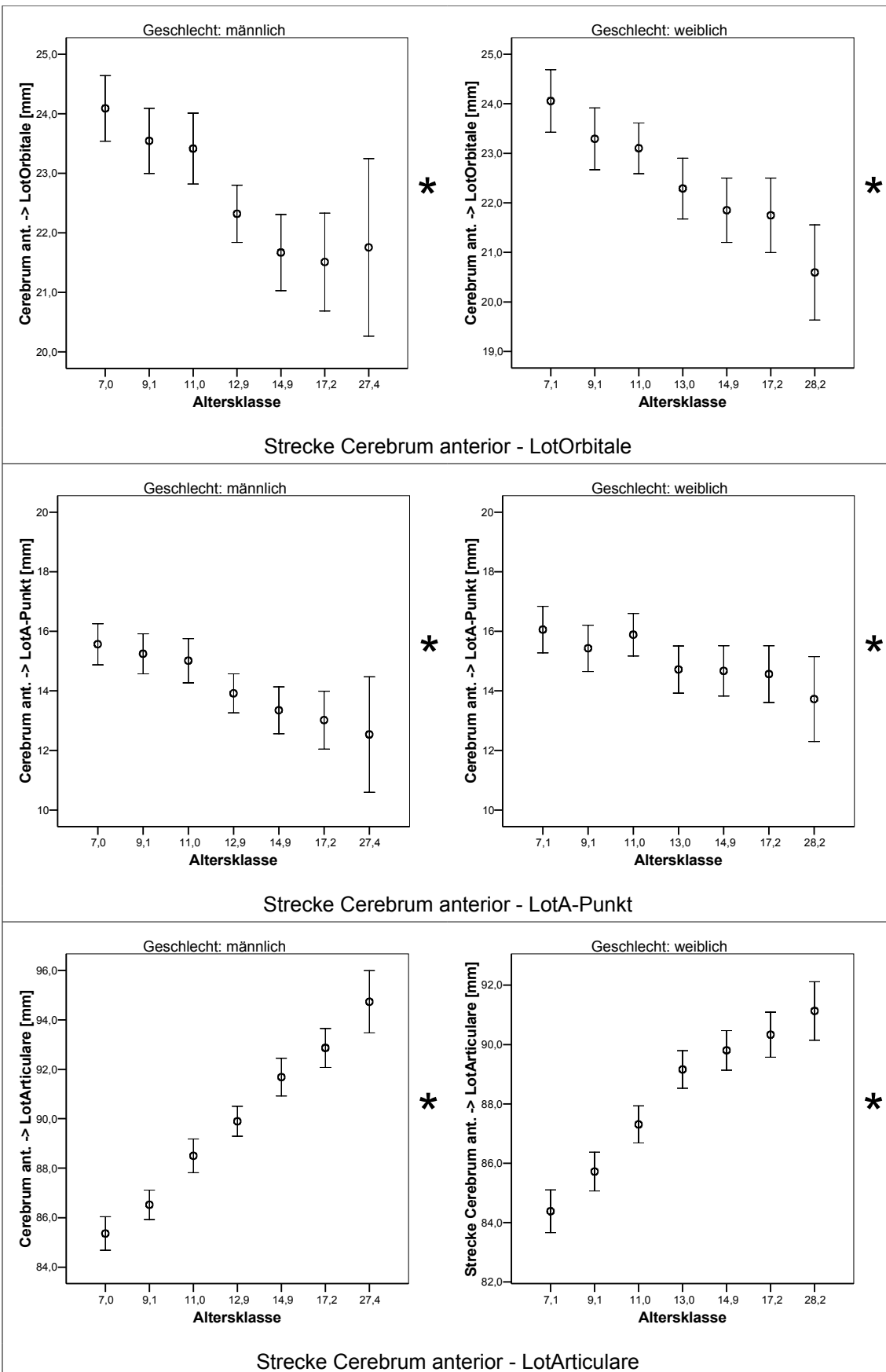
**Tabelle 46:** (*stumpfer*) Schnittwinkel Sella - Basion zu Basion - Opisthion [Grad]

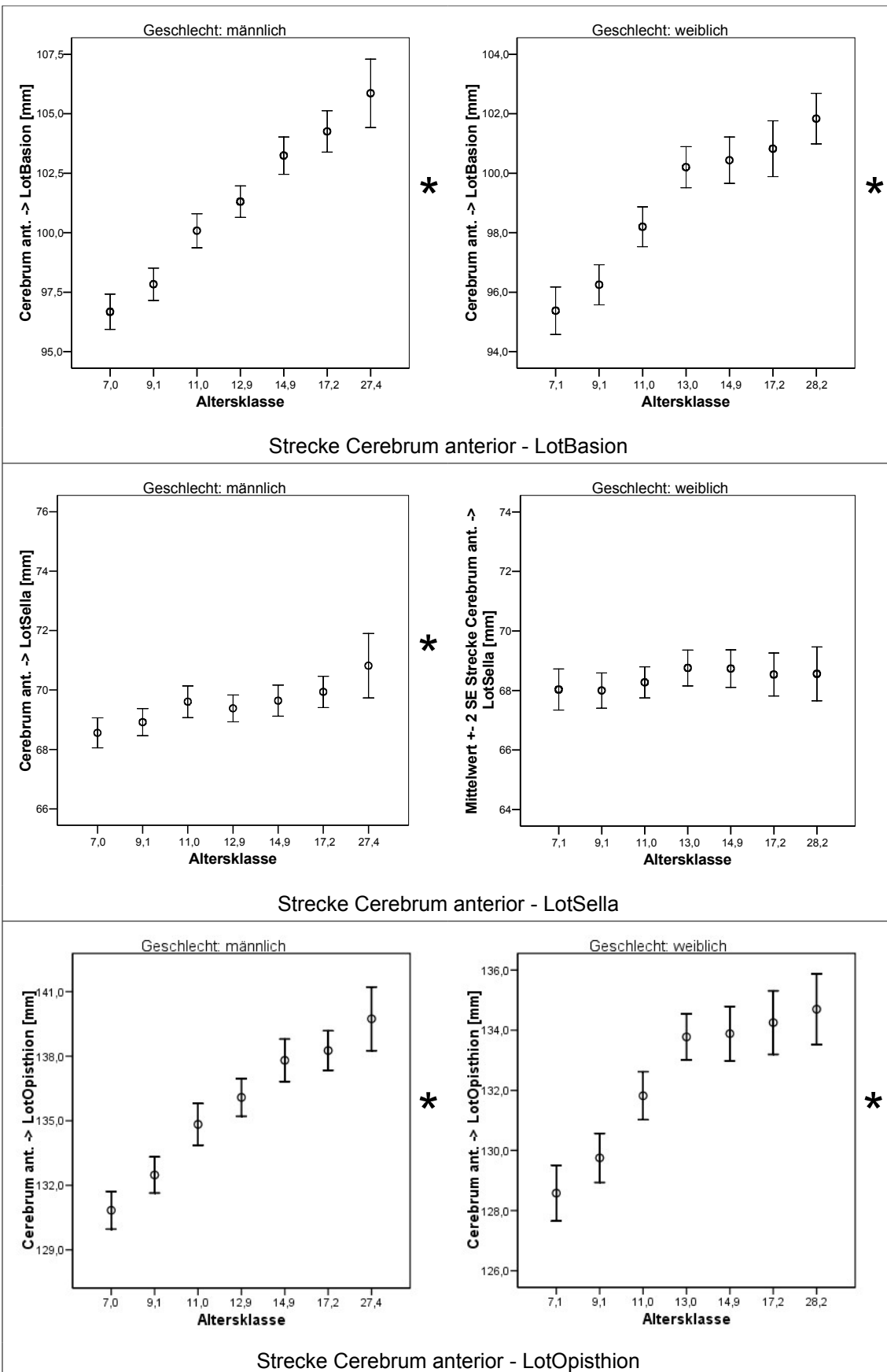
Männlich				Weiblich			
Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [Grad]	SD	Altersklasse	Gültige N	Mittelwert [Grad]	SD
7,0	119	131,3	5,86	7,1	98	132,0	5,62
9,1	141	130,6	6,35	9,1	122	131,8	5,54
11,0	125	130,2	6,25	11,0	135	130,6	5,9
12,9	143	129,6	7,33	13,0	125	130,1	6,37
14,9	121	128,9	7,42	14,9	120	129,5	6,57
17,2	99	127,9	7,20	17,2	95	130,2	5,96
27,4	49	129,1	7,76	28,2	40	131,3	6,79

## 7.2 Fehlerbalken der Messstrecken

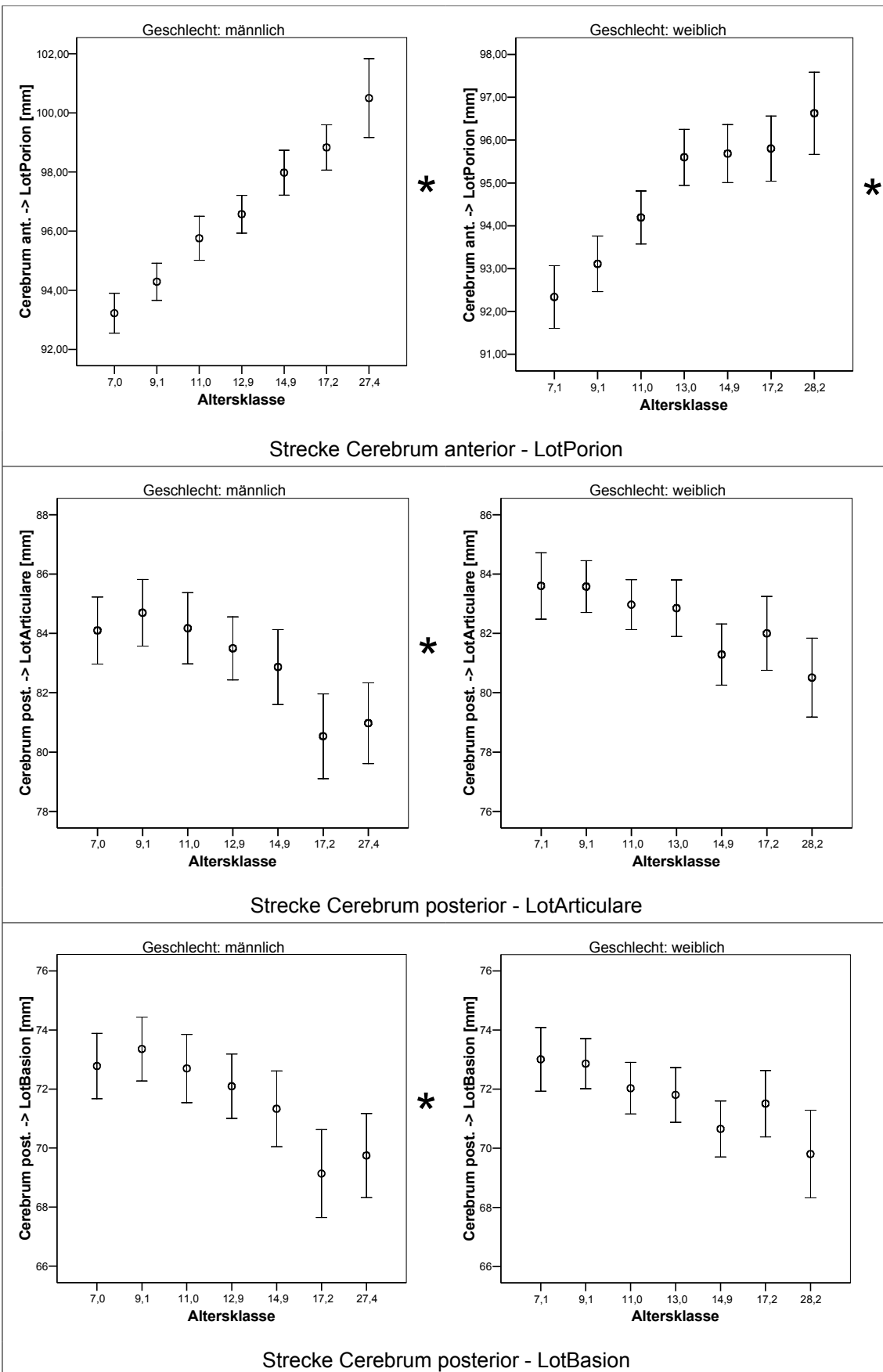
Das Sternchen (\*) kennzeichnet einen signifikanten Unterschied der Mittelwerte der ersten (♂7,0 bzw. ♀7,1) und vorletzten Altersklasse (17,2) im Post-hoc Scheffé Test. Das Signifikanzlevel ist mit  $p < 0,05$  festgelegt.

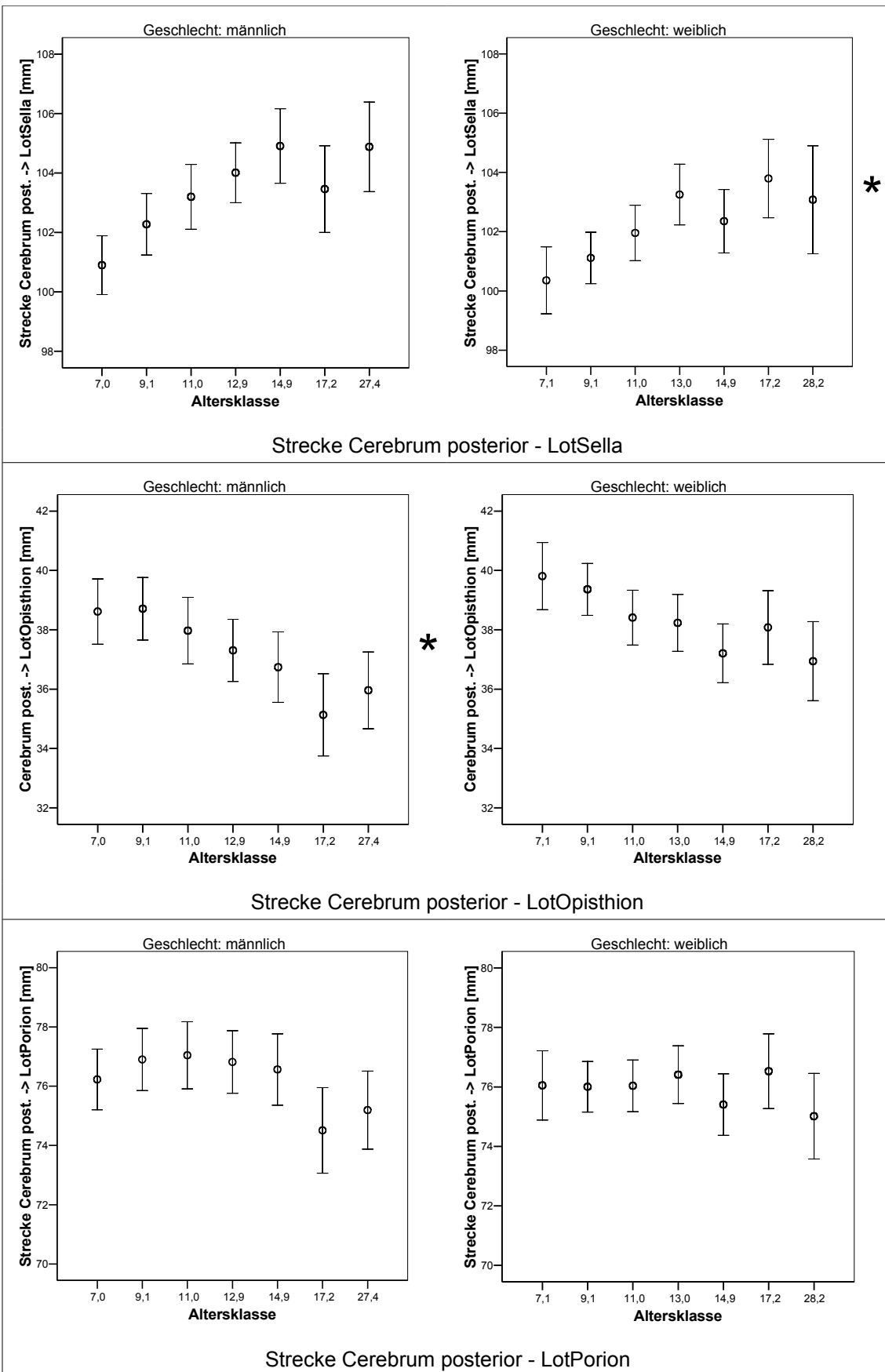


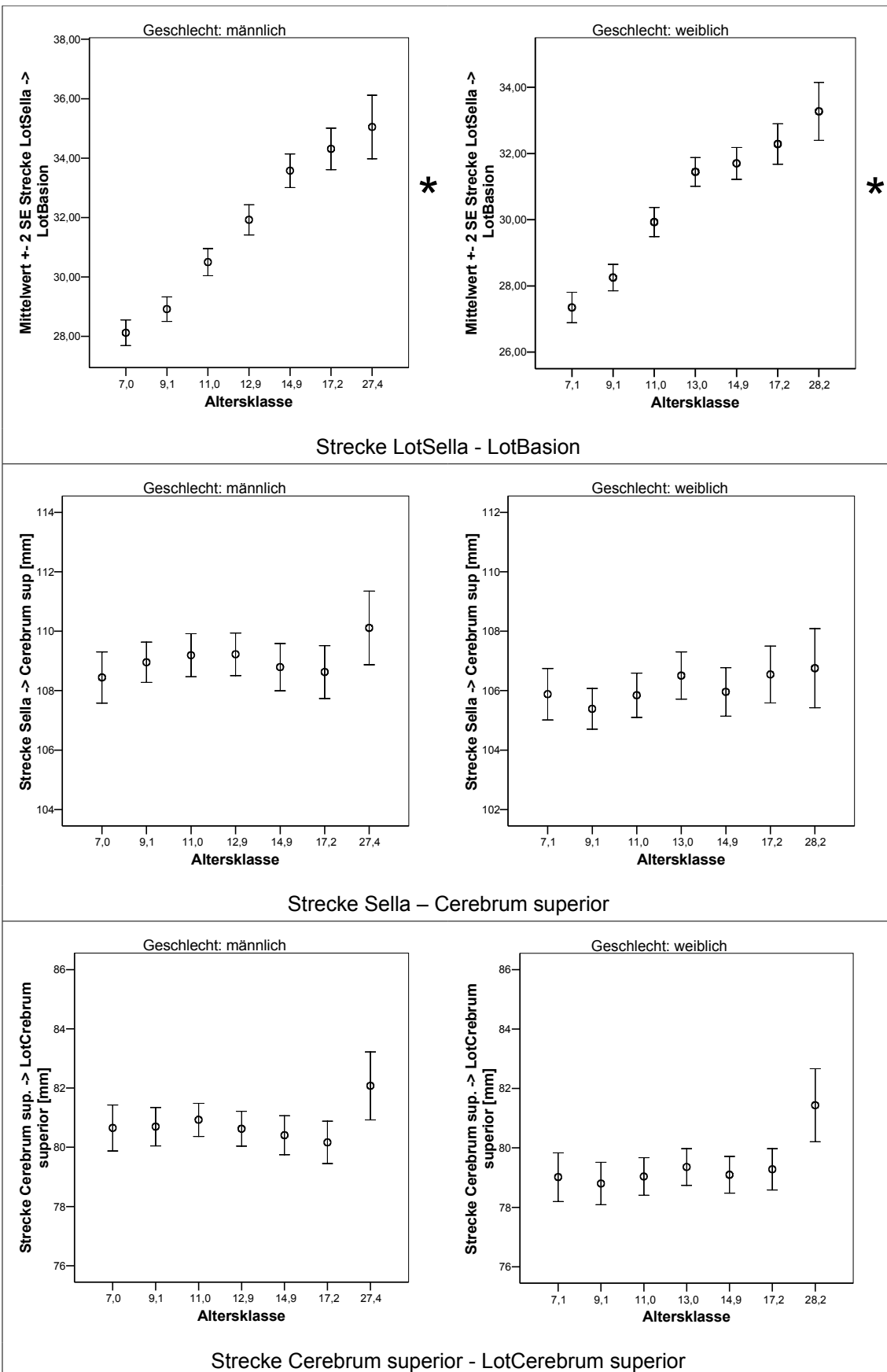


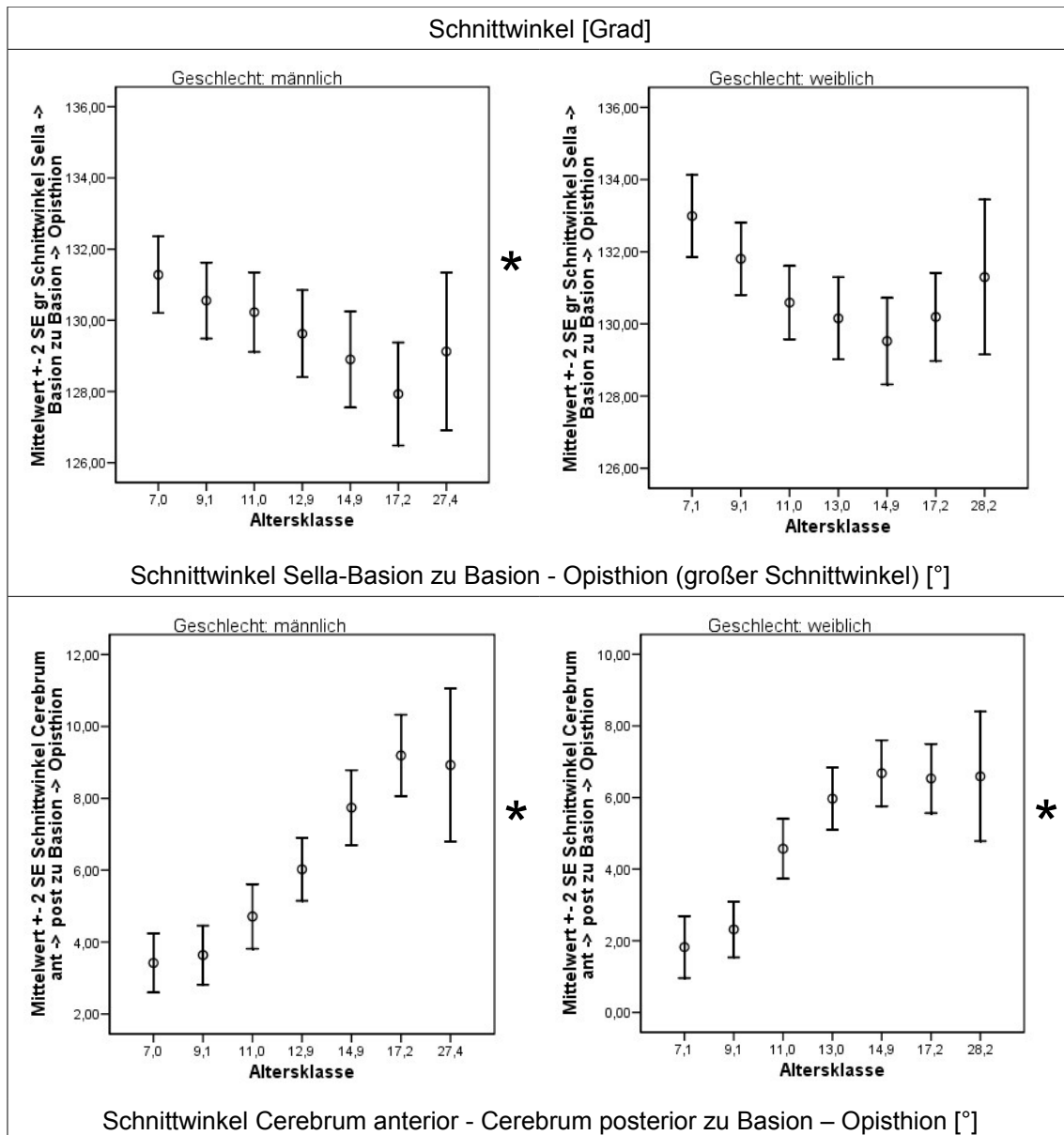


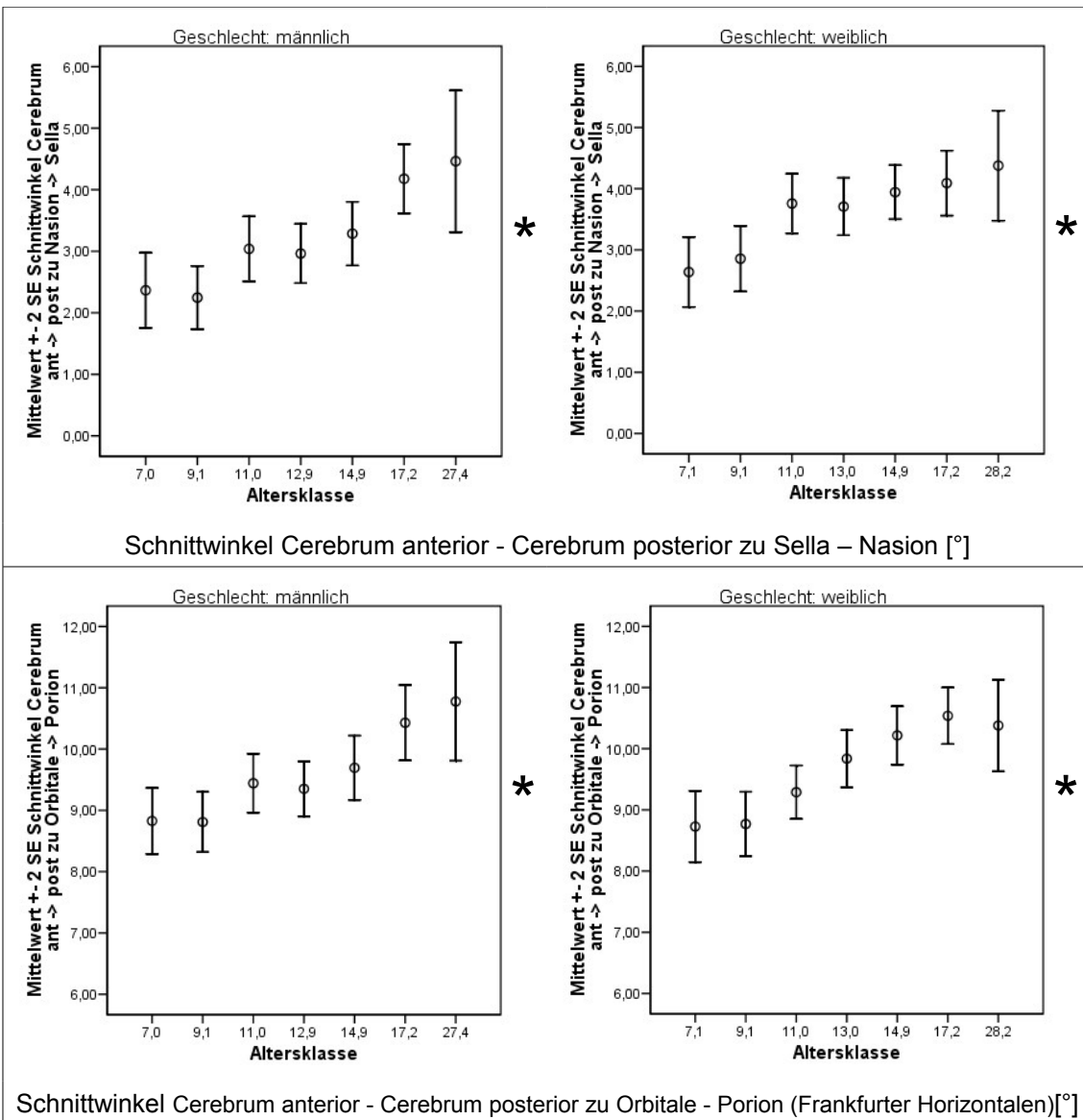












## Curriculum Vitae

22. Mai 1984	geboren als Sohn der Eheleute Karl-Heinz Jäger und Anette Jäger, geborene Schmidt, in Korbach
1990-1994	Humboldt Grundschule in Korbach
1994-2003	Alte-Landesschule in Korbach
18. Juni 2003	Abitur
13. Okt. 2003	Beginn des Studiums der Zahnmedizin an der Philipps-Universität Marburg
4. Okt. 2004	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
29. März 2006	Zahnärztliche Vorprüfung
13. Nov. 2008	Zahnärztliche Prüfung
28. Nov. 2008	Approbation zum Zahnarzt

Meine akademischen Lehrer im Fachbereich Medizin waren die Damen und Herren in Marburg an der Lahn:

Aumüller, Austermann, Barth, Coca, Czubayko, Dibbets, Ellers, Feuser, Flores de Jacoby, Gente, Gloerfeld, Höffgen, Jablonski-Momeni, Karoglan, Koolmann, Kroh, Lehmann, Lill, Lotzmann, Mandrek, Mengel, Mittag, Mutters, Neff, Neumüller, Pancherz, Pieper, Plant, Ramaswamy, Richter, Röhm, Seitz, Sonntag, Stachniss, Steiniger, Stoll, Suske, Teymoortash, Umstadt, Weihe, Wennemuth, Werner, Westermann

## Danksagung

Ich möchte mich sehr herzlich bei Herrn Professor Dr. Jos M. H. Dibbets, dem ehemaligen Leiter der Abteilung Kieferorthopädie am Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg bedanken. Zunächst für die Überlassung dieser Arbeit und das mir entgegengebrachte Vertrauen, aber auch für die sehr freundliche, engagierte und stets hilfreiche Betreuung, zahlreiche anregende Diskussionen und aufmunternde Worte zur rechten Zeit. Ich danke ihm besonders dafür auch jetzt im Ruhestand die Arbeit weiter geduldig und engagiert begleitet zu haben.

Mein zweiter Dank gilt Herrn Dr. Bernd Müller, Mitarbeiter der kieferorthopädischen Abteilung. Ihm danke ich für seine Hilfestellung bei der Einführung ins wissenschaftliche Arbeiten, beim Suchen der Literatur, bei dem Umgang mit der Textverarbeitung und dem Erstellen von Grafiken und bei der Einführung in die statistische Auswertung. Er hat die Arbeit fortwährend begleitet und viele hilfreiche Anregungen und Verbesserungsvorschläge geäußert.

Meinen Eltern Karl-Heinz und Anette Jäger möchte ich nicht nur für den Zuspruch während dieser Arbeit, sondern auch für die großzügige und liebevolle Unterstützung, die sie mir immer gewährt haben, danken.

Steffie Schmidt danke ich für die aufmunternden Worte während der Entstehung der Arbeit sowie für die Hilfe beim Suchen von Literatur und die vielen Korrekturen in Sachen deutsche Rechtschreibung.

Rebecca Geuecke danke ich für die vielen hilfreichen Diskussionen und die abwechslungsreiche gemeinsame Zeit im Forschungslabor.